



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EFEECTO DE LA ENMIENDA BIOCARBON+BIOL Y SIO₂ EN UN SUELO
FRANCO ARENOSO SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE MUSA
SP.

SANCHEZ PILCOREMA STALIN ENRIQUE
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

EFFECTO DE LA ENMIENDA BIOCARBON+BIOL Y SIO₂ EN UN
SUELO FRANCO ARENOSO SOBRE EL DESARROLLO
VEGETATIVO DE MUSA SP.

SANCHEZ PILCOREMA STALIN ENRIQUE
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

EFFECTO DE LA ENMIENDA BIOCARBON+BIOL Y SiO_2 EN UN SUELO FRANCO
ARENOSO SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE MUSA SP.

SANCHEZ PILCOREMA STALIN ENRIQUE
INGENIERO AGRÓNOMO

BARREZUETA UNDA SALOMON ALEJANDRO

MACHALA, 21 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA
2020

EFECTO DE LA ENMIENDA BIOCARBON + BIOL Y SIO2 EN UN SUELO FRANCO ARENOSO SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE MUSA SP

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | | |
|---------------------|----|---------------------|---------------|-------------------------|
| 1 % | EN | % | 1 % | % |
| INDICE DE SIMILITUD | | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

- 1 Cordoba, Diana, and Kees Jansen. "Same Disease-different research strategies: Bananas and Black Sigatoka in Brazil and Colombia : Black Sigatoka research in Brazil and Colombia", Singapore Journal of Tropical Geography, 2014.

Publicación

<1 %
- 2 Barlin Orlando Olivares, Miguel Araya-Alman, Cesar Acevedo-Opazo, Juan Carlos Rey et al. "Relationship Between Soil Properties and Banana Productivity in the Two Main Cultivation Areas in Venezuela", Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2020

Publicación

<1 %
- 3 Graciela Artavia, Carolina Cortés-Herrera, Fabio Granados-Chinchilla. "Total and resistant starch from foodstuff for animal and human consumption in Costa Rica", Current Research

<1 %

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

El que suscribe, SANCHEZ PILCOREMA STALIN ENRIQUE, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado EFECTO DE LA ENMIENDA BIOCARBON+BIOL Y SIO₂ EN UN SUELO FRANCO ARENOSO SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE MUSA SP., 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, 21 de diciembre de 2020

Stalin Sánchez

SANCHEZ PILCOREMA STALIN ENRIQUE
0705825354

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza y valentía que necesito para superar los obstáculos, guiarme hacia lo correcto y por hacerme participe de una gran familia que siempre están dispuestos a apoyarme en cada meta propuesta.

Con mucho cariño y afecto a mis amados padres Sr. José Sánchez Chillogalli y Sra. Jobita Pilcorema Márquez; por ser mis pilares fundamentales durante toda mi carrera estudiantil, por estar conmigo en cada momento, por creer en mí y brindarme una carrera para mi futuro, este arduo trabajo es para ustedes por todo su sacrificio puesto en mí, por mostrarme el camino correcto y poder salir adelante como un gran profesional.

A mis hermanos Adrián, Alex, Stefania, Yulissa y Katusca, que siempre estuvieron conmigo y que han sido incentivo durante toda mi carrera, a mis sobrinos a quien con sus travesuras y ocurrencias siempre está ahí para darme alegrías en todo momento.

A ti abuelo José Sánchez Montaña, que, aunque no estés conmigo en este momento sé que desde el cielo te sientes orgulloso de mi, mi amor eterno para ti.

A toda mi familia por sus palabras de aliento y siempre brindarme su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres, hermanos y familiares por ser una parte muy importante en mi vida y por apoyarme en todo momento.

A mi tutor de tesis Ing. Salomón Barrezueta Unda, PhD por brindarme sus conocimientos y estar pendientes durante todo el proceso de investigación; y demás trabajos realizados con mucho éxito bajo su tutela.

Al Ing. Julio Chabla Carrillo. PhD, por sus palabras de aliento durante el proceso de mi carrera, sus conocimientos impartidos y especialista en mi trabajo de titulación. De igual manera al Ing. Edwin Jaramillo Aguilar MSc, por formar parte de este arduo trabajo de investigación.

A mis amigos que de una y otra manera siempre estuvieron ahí para brindarme su apoyo y por los gratos momentos compartidos durante todo el periodo de nuestra formación.

A la Universidad Técnica de Machala, por abrirme las puertas de su prestigiosa institución, a los docentes y todo el personal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias que de una u otra forma siempre me brindaron su apoyo.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

EFECTO DE LA ENMIENDA BIOCARBON+BIOL Y SIO₂ EN UN SUELO FRANCO ARENOSO SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE MUSA SP.

RESUMEN

Stalin Sánchez Pilcorema

Salomón Barrezueta Unda

La producción de banano es uno de los principales cultivos de exportación a nivel mundial, contribuyendo con un alto nivel económico al país con la generación de fuentes de empleos directa o indirectamente para muchas familias. En Ecuador y principalmente dentro de la provincia de El Oro aportan aproximadamente con el 42% de la producción de banano gracias a la fertilidad de sus suelos y condiciones ambientales óptimas para la producción de un producto único a nivel mundial. La principal desventaja que presenta el cultivo, es el mal uso de los productos químicos que causan la contaminación del agua, medio ambiente y principalmente la degradación de los suelos que es el factor más importante para la producción. En la actualidad los suelos bananeros y el ambiente son afectados por el mal uso de agroquímicos, causando problemas físicos y químicos, bajando los rendimientos de producción por la acumulación de los metales pesados que vienen en las formulaciones de los agroquímicos. Es por esto que el enfoque de esta investigación, nace con el propósito de contrarrestar la degradación del suelo y contaminación del medio ambiente utilizando un biocarbón de cáscaras de cacao, materia prima que es utilizada porque absorbe de los metales pesados presentes en el suelo e incrementa el porcentaje de microorganismos eficientes, aumentando también la productividad de los cultivos, en combinación de un biol que se le adhiere *trichoderma spp*, utilizado por su capacidad de degradar los hongos patógenos; requiriendo humedad para su establecimiento y reproducción en el suelo, y poder controlar las enfermedades al cultivo y óxido de silicio con un 30% de materia orgánica que aporta sus beneficios a nivel edáfico y vegetal retardando también el incremento de la sigatoka negra. La investigación se realizó en la finca bananera “San Carlos” perteneciente al cantón El Guabo, de la provincia de El Oro, los tratamientos se aplicaron con el propósito de comparar los efectos del biocarbón de cacao en dosis creciente (10g, 20g, 30g), en

combinación con 100 g de SiO₂ y tres niveles de biol (100ml, 150ml, 250ml), cada uno a 10 repeticiones. Los resultados reflejados en esta investigación en la altura del hijo el tratamiento que mostró un crecimiento mayor fue el T1 con una altura de 217,80 cm en comparación con T0 con una altura de 195,40 cm; en el grosor del pseudotallo el T1 mostró un mayor crecimiento de circunferencia de 57,60 cm a diferencia del tratamiento control T0 que mostró un grosor de 52,10 cm; el número de hojas del hijo el T2 y T0 mostraron una homogeneidad en sus resultados con 11 hojas cada tratamiento, mientras que en los T1 y T3 presentó 8 y 9 hojas por planta; el peso de racimos obtenido en el T1 y T3 fue de 23,70 kg, con una gran diferencia notoria en el tratamiento control T0 que se obtuvo a un peso de 17,40 kg; los tratamientos T1, T3 y T0 mostraron una igualdad en el número de manos del racimos, a diferencia del T2 que fue donde se obtuvo un número mayor de manos; en la emisión foliar de la planta madre los tratamientos T1 y T2 presentaron un mayor número de hojas (9 hojas) mientras que en el tratamiento control T0 llegamos a la cosecha con 6 hojas. El efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de las plantas fue notorio frente al testigo.

Palabras clave: banano, cacao, pseudotallo, efectos, biocarbon, enmienda orgánica, agroquímicos, degradación, suelos.

EFFECT OF THE BIOCARBON + BIOL AND SIO₂ AMENDMENT IN A SANDY LOAM SOIL ON THE VEGETATIVE DEVELOPMENT OF MUSA SP.

ABSTRACT

Stalin Sánchez Pilcorema

Salomón Barrezueta Unda

Banana production is one of the main export crops worldwide, contributing with a high economic level to the country with the generation of direct or indirect sources of employment for many families. In Ecuador and mainly within the province of El Oro they contribute approximately 42% of banana production thanks to the fertility of their soils and optimal environmental conditions for the production of a unique product worldwide. The main disadvantage of the crop is the misuse of chemicals that cause contamination of the water, the environment and mainly the degradation of the soil, which is the most important factor for production. At present, banana soils and the environment are affected by the misuse of agrochemicals, causing physical and chemical problems, lowering production yields due to the accumulation of heavy metals that come in the formulations of agrochemicals. That is why the focus of this research was born with the purpose of counteracting the degradation of the soil and pollution of the environment using a biochar from cocoa shells, a raw material that is used because it absorbs the heavy metals present in the soil and increases the percentage of efficient microorganisms, also increasing the productivity of the cultures, in combination with a biol that adheres to *Trichoderma* spp, used for its ability to degrade pathogenic fungi; requiring humidity for its establishment and reproduction in the soil, and being able to control diseases to the crop and silicon oxide with 30% organic matter that provides its benefits at the edaphic and plant level, also delaying the increase of black sigatoka. The research was carried out in the banana farm "San Carlos" belonging to the El Guabo canton, in the province of El Oro, the treatments were applied with the purpose of comparing the effects of cocoa biochar in increasing doses (10g, 20g, 30g), in combination with 100 g of SiO₂ and three levels of biol (100ml, 150ml, 250ml), each one at 10 repetitions. The results reflected in this investigation in the height of the child, the treatment that showed the greatest growth was T1 with a height of 217.80 cm compared to T0 with a height of 195.40 cm; in the thickness of the pseudostem, T1 showed a greater circumference growth of 57.60 cm in contrast to

the control treatment T0, which showed a thickness of 52.10 cm; the number of leaves of the son on T2 and T0 showed homogeneity in their results with 11 leaves each treatment, while in T1 and T3 they presented 8 and 9 leaves per plant; the weight of bunches obtained in T1 and T3 was 23.70 kg, with a great noticeable difference in the control treatment T0, which was obtained at a weight of 17.40 kg; treatments T1, T3 and T0 showed an equality in the number of hands in the bunches, unlike T2, which was where a greater number of hands was obtained; In the foliar emission of the mother plant, treatments T1 and T2 presented a greater number of leaves (9 leaves) while in the control treatment T0 we reached the harvest with 6 leaves. The effect of the treatments on the development of the plants was noticeable compared to the control.

Keywords: banana, cocoa, pseudostem, effects, biocarbon, organic amendment, agrochemicals, degradation, soils.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| DEDICATORIA | 1 |
| AGRADECIMIENTOS | 2 |
| RESUMEN | 3 |
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| I. REVISIÓN DE LITERATURA | 15 |
| 1.1. Origen | 15 |
| 1.2. Producción de <i>Musa spp</i> en el Ecuador y en la provincia de El Oro | 15 |
| 1.3. Clasificación taxonómica | 16 |
| 1.4. Fases fenológicas del cultivo | 16 |
| 1.4.1. Fase infantil | 16 |
| 1.4.2. Fase juvenil | 17 |
| 1.4.3. Fase reproductiva | 17 |
| 1.5. Morfología de la planta | 17 |
| 1.5.1. <i>Sistema radicular</i> | 17 |
| 1.5.2. <i>Cormo o Rizoma</i> | 18 |
| 1.5.3. <i>Pseudotallo</i> | 18 |
| 1.5.4. <i>Hojas</i> | 19 |
| 1.5.5. <i>Inflorescencia</i> | 20 |
| 1.5.6. <i>Fruto</i> | 20 |
| 1.6. Condiciones edafoclimáticas | 21 |
| 1.6.1. <i>Altitud</i> | 21 |
| 1.6.2. <i>Precipitaciones y requerimientos de agua</i> | 21 |
| 1.6.3. <i>Temperatura</i> | 21 |
| 1.6.4. <i>Humedad relativa</i> | 22 |
| 1.6.5. <i>Luminosidad</i> | 22 |
| 1.6.6. <i>Suelos</i> | 22 |
| 1.7. Manejo integrado del cultivo de banano | 23 |
| 1.8. Requerimientos nutricionales del Banano | 24 |
| 1.9. Elementos minerales que nutren el cultivo | 24 |
| 1.10. Fertilización del cultivo de banano | 25 |
| 1.11. Enmiendas orgánicas | 25 |
| 1.11.1. <i>Biocarbón</i> | 25 |
| 1.11.2. <i>Materia prima y elaboración</i> | 26 |
| 1.12. <i>Biol</i> | 28 |
| 1.12.1. <i>Elaboración</i> | 29 |

| | | |
|--------|---|----|
| 1.13. | Fertilizante Orgánico SiO ₂ | 29 |
| II. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 31 |
| 2.1. | Zona de estudio..... | 31 |
| 2.2. | Diseño del experimento..... | 31 |
| 2.3. | Hipótesis..... | 31 |
| 2.4. | Parámetros objeto de estudio..... | 31 |
| 2.4.1. | <i>Medición de la altura de la planta</i> | 32 |
| 2.4.2. | <i>Grosor del pseudotallo</i> | 32 |
| 2.4.3. | <i>Número de hojas del hijo</i> | 32 |
| 2.4.4. | <i>Número de hojas de la planta madre</i> | 32 |
| 2.4.5. | <i>Peso de racimo</i> | 32 |
| 2.4.6. | <i>Número de manos del racimo</i> | 32 |
| 2.4.7. | <i>Porcentaje de raíces</i> | 32 |
| 2.5. | Obtención de la materia prima..... | 33 |
| 2.5.1. | <i>Biomasa de la cáscara de cacao</i> | 33 |
| 2.5.2. | <i>Producción del biocarbón</i> | 33 |
| 2.5.3. | <i>Características del biocarbón</i> | 34 |
| 2.6. | Obtención de la cepa de <i>Trichoderma</i> spp. | 35 |
| 2.6.1. | <i>Preparación para siembra de trichoderma spp.</i> | 35 |
| 2.6.2. | <i>Siembra de trichoderma spp.</i> | 36 |
| 2.7. | Elaboración de un biofermentado o biol de <i>trichoderma</i> spp..... | 37 |
| III. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 38 |
| 3.1. | Altura de planta de banano..... | 38 |
| 3.2. | Grosor de pseudotallo..... | 39 |
| 3.3. | Número de hojas del hijo..... | 40 |
| 3.4. | Peso de racimos..... | 41 |
| 3.5. | Número de manos de racimo..... | 42 |
| 3.6. | Número de hojas de la planta madre..... | 43 |
| 3.7. | Diferencia de hoja del hijo..... | 43 |
| 3.8. | Diferencia del pseudotallo del hijo..... | 44 |
| 3.9. | Porcentaje de raíces..... | 45 |
| IV. | CONCLUSIONES..... | 46 |
| V. | RECOMENDACIONES..... | 47 |
| VI. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 48 |
| | ANEXOS..... | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Sistema Radicular del cultivo de banano..... | 18 |
| Figura 2: Cormo e hijuelo de la planta de banano..... | 18 |
| Figura 3: Pseudotallo de la planta. | 19 |
| Figura 4: Hojas de la planta de banano. | 19 |
| Figura 5: Inflorescencia del cultivo de banano. | 20 |
| Figura 6: Fruto de banano..... | 21 |
| Figura 7: Biocarbón de mazorca de cacao..... | 26 |
| Figura 8: Elaboración de biocarbón de cacao. | 27 |
| Figura 9: Elaboración de biol de trichoderma. | 28 |
| Figura 10: Fertilizante orgánico (SiO ₂)...... | 30 |
| Figura 11. Cascaras de mazorca de cacao..... | 33 |
| Figura 12: Elaboración de horno para producción de biocarbon..... | 34 |
| Figura 13: Biocarbon vegetal de cacao..... | 34 |
| Figura 14: Trichoderma spp. observado en aumento 100 x..... | 35 |
| Figura 15: Cocido de arroz para siembra de trichoderma spp..... | 36 |
| Figura 16: Siembra de trichoderma spp..... | 37 |
| Figura 17: Biofermentado de trichoderma spp..... | 37 |
| Figura 18: Crecimiento de altura de hijo..... | 39 |
| Figura 19: Grosor del pseudotallo de la planta de banano..... | 40 |
| Figura 20: Número de hojas de la planta de banano..... | 41 |
| Figura 21: Peso de racimos de banano..... | 42 |
| Figura 22: Número de manos del racimo de banano..... | 42 |
| Figura 23: Número de hojas de la planta madre..... | 43 |
| Figura 24: Diferencia del número de hojas del hijo..... | 44 |
| Figura 25: Diferencia del pseudotallo del hijo..... | 44 |
| Figura 26: Peso de raíces..... | 45 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|-----------|
| <i>Cuadro 1: Taxonomía del banano.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Cuadro 2: Representación del desarrollo fenológico por fase de una planta y su retoño.</i> | <i>17</i> |
| <i>Cuadro 3: Parámetros utilizados para determinar la aptitud de los suelos para el cultivo de banano.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Cuadro 4: Promedios evaluados de 5 variables al 9no mes de establecida/ tratamiento.</i> | <i>29</i> |
| <i>Cuadro 5: Crecimiento de la altura de planta</i> | <i>38</i> |
| <i>Cuadro 6: Grosor del pseudotallo.....</i> | <i>39</i> |
| <i>Cuadro 7: Número de hojas del hijo.</i> | <i>40</i> |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----------|
| <i>Anexo 1: Quema para la obtención del biocarbon de cacao.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Anexo 2: Materia prima en el tanque de quema y obtención de biocarbon o biochar de cacao.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Anexo 3: Cocido de arroz para la siembra de trichoderma spp.....</i> | <i>55</i> |
| <i>Anexo 4: Siembra de trichoderma spp.....</i> | <i>55</i> |
| <i>Anexo 5: Cosecha de trichoderma spp.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Anexo 6: Elaboración del biofermentado o biol de trichoderma spp.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Anexo 7: Cosecha del biofermentado o biol de trichoderma spp.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Anexo 8: Selección de las plantas para el estudio.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Anexo 9: Toma de datos (altura de planta y grosor de pseudotallo).....</i> | <i>58</i> |
| <i>Anexo 10: Aplicación del fertilizante (SiO₂) + biocarbon + biol de trichoderma spp.....</i> | <i>58</i> |

INTRODUCCIÓN

Los suelos son la base principal para la diversidad de los ecosistemas y soporte fundamental para la producción agrícola. Pero cabe recalcar que después de la década de los 50, con la inadecuada utilización de las prácticas agronómicas para la producción de las plantas, la calidad de muchos se degradaron; este aspecto tiene como consecuencia el deterioro progresivo de las propiedades físicas, químicas y biológicas, como es la disminución de la fertilidad del suelo que se refleja en el bajo rendimiento de la productividad agrícola.(Mogollon et al., 2014)

En este marco la mayor parte de los suelos ecuatorianos son afectados por la inadecuada implementación de prácticas agronómicas como la explotación en monocultivos, ocasionando principalmente la degradación física que provoca compactación, desorientación de estructura y un déficit nutricional que disminuye su potencial nutritivo, degradación química causante de la salinización, acidificación y disminución o distribución irregular de los nutrientes en el suelo; considerando, así como degradación a toda modificación que conduzca a la pérdida de las funciones del mismo (Munoz Iniestra et al., 2013)

En el Ecuador el cultivo de banano se desarrolla en las provincias del Guayas, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas y El Oro, donde las condiciones climáticas son aptas para el desarrollo fisiológico de este cultivo, lo que han permitido que sean una de los principales productores de banano por su calidad de la fruta a nivel nacional e internacional, aportando al país con una tasa de PIB del 24%.(Brando Cevallos, 1836).

El biochar o también conocido como biocarbon vegetal es una enmienda rica en nutrientes y materia orgánica que aporta de manera significativa para la fertilidad de los suelos y el rendimiento de los cultivos. obteniendo su producto mediante pirólisis, que es la descomposición por acción de calor y una atmósfera sin presencia de oxígeno, con la finalidad de obtener mayor eficiencia energética mediante generación de compuesto químico secundarios y calor (Marín et al., 2018)

Esta investigación tiene como finalidad desarrollar alternativas ante la degradación de los suelos bananeros en cuanto a su fertilidad, utilizando dosis que es un derivado carbonado estable producido a partir de biomasa vegetal de cacao y así mejorar el aporte de materia

orgánica, y, por tanto, mejorar la relación nutricional suelo planta. otros beneficios que se obtiene del biochar son: incremento de la capacidad de retención de agua y de nutrientes. Efectos que se pueden potenciar en la combinación con un biofermentado o biol al cual se adhiere *trichoderma spp.*, que son hongos benéficos, versátil y polifacético que abundan en los suelos con una gran gama de beneficios, que impiden el desarrollo de enfermedades en las plantas (Rios, 2014), y del Oxido de Silicio (SiO₂), que aporta sus beneficios a nivel edáfico y vegetal, retardando también el incremento de la Sigatoka negra.

Objetivos de investigación

La investigación tiene por objetivo general, comparar los efectos de un biocarbon obtenido de la mazorca de cacao sobre el crecimiento de plantas de banano en combinación de un biofermentado constituido de *Trichoderma spp.*, y un fertilizante orgánico (SiO₂), en un suelo de clase textural franco arenoso, trabajo desarrollado en el sitio El Porvenir, Cantón El Guabo, El Oro – Ecuador.

Objetivos específicos:

- Describir el desarrollo vegetativo de las plantas de banano, clon Cavendish en diferentes dosis. T1 (100 gr SiO₂, 10 gr de biochar de cacao, biol 10 %), T2 (100 gr SiO₂, 20 gr de biochar de cacao, biol 15 %), T3 (100 gr SiO₂, 30 gr de biochar de cacao, biol 25 %), T0 (100 gr SiO₂).
- Comparar las variables de altura de planta de banano, diámetro del pseudotallo y número de hojas de la planta madre de banano al momento de la cosecha.
- Relacionar los efectos en el crecimiento y peso de racimos de las plantas madre de banano de las diferentes dosis: T1 (100 gr SiO₂, 10 gr de biochar de cacao, biol 10 %), T2 (100 gr SiO₂, 20 gr de biochar de cacao, biol 15 %), T3 (100 gr SiO₂, 30 gr de biochar de cacao, biol 25 %), T0 (100 gr SiO₂).

I. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Origen

El origen del género *Musa* es en Asia menor en la región Malaya. Los comerciantes del mediterráneo desde el año 650 d.C se encargaron de propagarlos en zonas calidad (Ortega et al., 2010). Se reconocen dos especies silvestres de *Musa*: *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* (Ramirez, 2003), cuya hibridación generaron todos los cultivares que conocemos el día de hoy y que forman parte de nuestra dieta alimenticia.

El género *Musa* recorrió el Sudeste Asiático y Papúa Nueva Guinea, hasta Indostán, Pacífico y América, luego los árabes y persas lo trasladaron hasta el Oriente Próximo, Oriente Medio e incluso África y Europa, finalizando en las Islas del Caribe y el Nuevo Mundo (UNCTAD, 2016).

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

Según la FAO en el año 2018, Ecuador se coloca dentro de los 10 productores principales del mundo con una producción de 6,505,635 toneladas métricas (Figura 1), dentro de los productos que comercializa el Ecuador el banano ocupa el tercer lugar, por encima está el cultivo de caña y por debajo la producción de aceite de palma. Ecuador se sitúa entre los mayores exportadores junto con Colombia, Costa Rica y Filipinas (Montoya López et al., 2015).

La producción de banano en el Ecuador es uno de los principales ingresos económicos y además una gran fuente de trabajo en el país, en toda la cadena productiva se beneficia más de 1 millón de familias, que representa cerca de 2,5 millones de personas y que equivale al 17% de la población (Martínez Estrada & Encalada Pardo, 2017). Provincias como Guayas, Los Ríos y El Oro son zonas productoras y principales exportadoras de banano (Zambrano et al., 2017). Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería existen 190.381 hectáreas de banano cultivado en todo el país, además de que la provincia de El Oro representa el 42% de la producción bananera ecuatoriana (Villanueva et al., 2020).

El género *Musa spp* tiene buena acogida en el mercado exterior debido al contenido de nutrientes, aroma, sabor entre otras características que lo distinguen de otros, su exportación varía en relación a las necesidades de los países que demandan del producto (Pardo Jiménez et al., 2020).

1.3. Clasificación taxonómica

El banano y el plátano corresponde al grupo de las monocotiledóneas; la taxonomía de este género es complejo y comprende híbridos que han desarrollado otras genéticas muy particulares, en la serie Eumusa se dividen cultivares productos del cruce entre *acuminata* y *balbisiana* y que dan origen a musáceas muy conocidas el día de hoy como Cavendish y Gros Michel; plátanos como Dominico, Cuadrado y Pelipita (Arteaga, 2015).

Cuadro 1: Taxonomía del banano.

| | |
|-----------|-----------------------|
| Reino: | Plantae |
| División: | Magnoliophyta |
| clase: | Liliopsida |
| Orden: | Zingiberales |
| Familia: | Musaceae |
| Género: | <i>Musa</i> |
| Especie: | <i>M. paradisiaca</i> |

Fuente:(Arteaga, 2015)

1.4.Fases fenológicas del cultivo

Según la literatura a continuación se describen tres fases fenológicas en el cultivo de banano.

1.4.1. Fase infantil

En esta fase se toma en cuenta desde el momento en que el cormo demuestra sus primeros indicios de germinación o a su vez la aparición de hijuelos en lados laterales de la planta madre, alrededor de los tres meses de edad el hijo alcanza una altura de hasta 50cm, sus hojas se vuelven escumiformes y con colores pardos, cuando desarrollan entre 7 y 12 hojas se aparece la primera hoja con una lámina foliar de 10cm de ancho conocida como F10 y tiene una duración de 104 días (Vargas et al., 2017).

1.4.2. Fase juvenil

La fase juvenil empieza a partir de la hoja F10, continuamente aparecen nuevas hojas hasta llegar a la hoja Fm, ésta indica el inicio de la fase autónoma de la planta, es decir hojas que tiene características muy parecidas a la planta madre. Las hojas Fm empiezan a aparecer entre los 10 y 50 días antes de la cosecha de la planta madre, esta etapa tiene una duración de 91 días (Vargas et al., 2017).

1.4.3. Fase reproductiva

Cuadro 2: Representación del desarrollo fenológico por fase de una planta y su retoño.

| Estado de Desarrollo | y | F10 | Fm | F | C |
|-------------------------|---------------|--------------|-------------------|---------|-------------|
| Fase | Fase Infantil | Fase Juvenil | Fase Reproductiva | | |
| Días acumulados 0 | 50 100 | 150 200 | 300 | 350 | 400 450 575 |
| Duración fase (Prom) | 104 | 91 | 125 | 84 | 404 |
| (Min-Max) | (73-137) | (74-116) | (110-156) | (70-98) | (318-507) |
| # Hojas Emitidas (Prom) | (12) | (20) | (30) | | (30+3) |
| (Min-Max) | (10-14) | (18-24) | (27-33) | | |
| altura planta (Prom) | 135,5 | 237,12 | 300 | | |
| (Min-Max) | (112-143) | (201-295) | (250-375) | | |
| Biomasa (Kg) | 10,23 | | 10,37 | 81,37 | 125,16 |
| | | y' | F10' | Fm' | F' C' |
| RETORNO | | | | | |
| | 168 Días | | 195 Dias | | |

Fuente: Soto, 2014

La fase reproductiva empieza desde la aparición de la hoja Fm que se conoce también como el inicio de la floración hasta la cosecha del fruto. Al comienzo de esta última etapa la planta ha emitido todas sus hojas, pero solo la mitad emergen, esta etapa se subdivide en dos: hoja Fm a F que dura 125 días y es donde comprende la floración, y de F a C que tiene una duración de 84 días a la cosecha (Cuadro 2) (Vargas et al., 2017)

1.5. Morfología de la planta

1.5.1. Sistema radicular

El sistema de raíces del género *Musa* se extiende hasta una distancia de 5,2 metros de la planta con una profundidad de 0,75 metros, las raíces son una estructura principal dentro del cultivo siendo aun así muy pocas las investigaciones en campo (Lacerda Filho et al.,

2004). También está conformado por raíces primarias , secundarias y terciarias dando un buen anclaje a las planta (figura 1) (Espinosa Velepucha et al., 2019).



Figura 1: Sistema Radicular del cultivo de banano
Fuente: Autor.

1.5.2. Cormo o Rizoma

El cormo representa el verdadero tallo del banano, como monocotiledónea su estructura es simpódica, crece en ramificaciones subterráneas laterales comúnmente llamadas brotes, el peso aproximado de un cormo es de 6 a 10 kilos con un diámetro de 25 a 40cm (Cortés & Lizano, 1994). La superficie del rizoma o cormo está cubierta por la epidermis en su estado joven, que conforme cumple su desarrollo la planta es reemplazada por capas corticales (figura 2) (León, 2000).



Figura 2: Cormo e hijuelo de la planta de banano.
Fuente: Autor.

1.5.3. Pseudotallo

Según la investigación de Castro & Chiquillo, (2016) el diámetro del pseudotallo está vinculado con la altura de la planta (figura 3). El pseudotallo del banano está formado por la acción enrollada de las vainas de las hojas, logrando una unión bastante apretada, que

a su vez soporta la inflorescencia que están en crecimiento, posee una conexión clave entre el tejido vascular de las hojas, flores, frutos, raíces, brindando un soporte al sistema foliar. Luego de la cosecha el pseudotallo es utilizado como reservorio de nutrientes e incluso humedad al hijo de sucesión (Rodríguez et al., 2006).



***Figura 3: Pseudotallo de la planta.
Fuente: Autor.***

1.5.4. Hojas

El sistema foliar del cultivo de banano (figura 4) varía en tamaño y funcionalidad, el desarrollo y producción de cultivos dependen del crecimiento de las mismas (Barrera et al., 2009), el meristema apical produce desde muy joven hojas en postura helicoidal, en forma de espada, sin limbo desarrollado, continuamente aparecen hojas lanceoladas hasta que se convierten en hojas adultas con sus partes bien diferenciadas; lámina o limbo, pseudopecíolo, vaina y nervadura central (Galan et al., 2018).



***Figura 4: Hojas de la planta de banano.
Fuente: Autor.***

1.5.5. Inflorescencia

Una inflorescencia crece desde el interior del pseudotallo y termina su desarrollo en la parte superior del corno (figura 5) (Hernández et al., 2007), los nodos de las flores se convierten en las futuras manos (Martínez & Hoyos Carvajal, 2012), esta inflorescencia tiene forma ovoidea, con un característico color violáceo, formada por un grupo de brácteas que a su vez forman un conjunto de flores femeninas que posteriormente se convertirán en futuros frutos (Becerra, 1999).



Figura 5: Inflorescencia del cultivo de banano.

Fuente: Autor

1.5.6. Fruto

El fruto del género *Musa spp* es una baya oblonga, las características físicas y morfológicas de las musáceas varían de acuerdo con su posición en el racimo sin embargo un solo dedo del fruto posee una longitud promedio menor a 25 cm, un diámetro promedio de fruto mayor a 5 cm, el peso del racimo también varía en cuanto al cultivar y abarca aproximadamente los 14 kg (Hoyos et al., 2012), la pulpa del fruto cuando es de color verde no posee sabor, a medida que la fruta madura los compuestos se polimerizan, decrece la astringencia y aumenta su sabor a muy dulce (Ranieri & De Oliveira Delani, 2014). Castillo et al., (2019) menciona que su calidad está influenciada por la época de cosecha (figura 6).



Figura 6: Fruto de banano
Fuente: Autor.

1.6. Condiciones edafoclimáticas

1.6.1. Altitud

Ramírez et al., (2011) menciona que la altitud óptima para el desarrollo vegetativo del banano de exportación es entre 0 y 300 msnm, sin embargo, lo relaciona con el tiempo de cosecha diciendo que a alturas mayores entre 800 y 1160 msnm se necesita de más días para su cosecha, mientras que con altitudes menores a los 860 msnm requieren de menos días para llegar a cosecha.

1.6.2. Precipitaciones y requerimientos de agua

La morfología de la planta de banano y la hidratación de sus tejidos, requiere de una gran cantidad de agua que esté disponible en el suelo, dando así un crecimiento normal, necesitando importantes cantidades durante el ciclo de floración y formación del racimo (Castaño et al., 2012). En Ecuador las provincias con mayor producción poseen climas característicos con precipitaciones que van desde los 900mm a 2500mm al año, cantidades que deben acoplarse a los requerimientos mensuales del cultivo que son alrededor de 100mm-180mm por mes (Elbehri et al., 2015).

1.6.3. Temperatura

La temperatura requerida por el cultivo de banano aborda rangos entre 18,5 a 35,5 °C, menos de eso tendría problemas sobre el crecimiento y posterior desarrollo de su inflorescencia. Así mismo si está expuesto a temperaturas altas, ocurrirían problemas de

sequía y un posible estrés hídrico si no se suministra agua adecuadamente (Molina et al., 2016).

1.6.4. Humedad relativa

Se requiere de una óptima humedad relativa entre 70-80%, ya que fuera de este rango favorece al desarrollo de enfermedades (Azuero, 2020). Además según señala el autor Orozco et al., (2008) varias investigaciones demuestran que la humedad sobre las hojas favorece más aun el desarrollo de Sigatoka, principal problema fitosanitario del cultivo.

1.6.5. Luminosidad

Uno de los factores que afecta el cultivo de banano es la luz, tal como lo dice López et al., (1995) además de otros que menciona como clima, temperatura, lluvia entre otros. Se dice que una zona con una gran cantidad de horas de brillo solar es potencialmente activa, un punto importante es seleccionar muy bien la zona, ya que debido a esto los rendimientos del cultivo se verán favorables o no, el clima resulta ser más importante que el mismo manejo agronómico.

1.6.6. Suelos

Los suelos requeridos para el cultivo de banano son característicos de textura franca, con buen drenaje, gran estructura y con valores de pH ligeramente ácidos a levemente alcalinos, sin exceso contenido de carbonatos, estas características son ideales para un buen desarrollo de raíz. Con respecto al nivel freático entre 0.5 a 1.0 metro se menciona que causa anoxia en la zona de raíces, que conduciría a un problema en su desarrollo y posteriormente un bajo rendimiento en cosecha (Cigales & Pérez, 2011).

López et al., (1995) señala que los suelos aluviales, es decir provenientes del arrastre de materiales de variada composición por causa de los desbordamientos de ríos, contienen las mejores condiciones para el cultivo de banano, sin embargo en el cuadro 3, se presentan los parámetros empleados para calificar la aptitud de suelos en general y observar sus características principales.

Cuadro 3: *Parámetros utilizados para determinar la aptitud de los suelos para el cultivo de banano.*

| Condiciones del suelo | | | |
|-------------------------------|---|-------------------|---|
| Profundidad Efectiva | Textura | Estructura | Drenaje Interno |
| A. Muy profundo | A. Media | A. Óptima | A. Bueno |
| B. Profundo | B. Ligeramente pesada o ligeramente liviana | B. Buena | B. Moderadamente rápido o moderadamente lento |
| C. Moderadamente profundo | C. Moderadamente pesada o moderadamente liviana | C. Regular | C. Imperfecto |
| D. Superficial | D. Muy pesada o muy liviana | D. Deficiente | D. Excesivo |
| Condiciones de terreno | | | |
| Salinidad | Reacción (pH) | | Fertilidad |
| A. Leve | A. Neutro o ligeramente ácido | | A. Alta |
| B. Moderada | B. Ligeramente alcalino o ácido | | B. Media |
| C. Fuerte | C. Muy alcalino o fuertemente ácido | | C. Baja |
| Condiciones de terreno | | | |
| Pendiente | Pedregosidad | | Riesgos de Inundaciones |
| A. Plano | A. Leve | | A. Leve |
| B. Ligeramente inclinado | B. Moderada | | B. Moderado |
| C. Inclinado | C. abundante | | C. Baja |
| D. Ondulado | D. Muy abundante | | |

Fuente: (López & Espinosa, 1995).

1.7. Manejo integrado del cultivo de banano

Desde el momento que se inicia con el cultivo de banano lo primero es el establecimiento de la especie, como material de siembra utilizan cormos como la vía más fácil, aunque gracias a los nuevos avances tecnológicos a través de la biotecnología se crean tejidos meristemáticos manteniendo uniformidad en plantas siendo mucho más beneficioso para el agricultor (Azüero Gaona, 2019)

En lo que respecta al manejo tradicional según el autor Azüero, (2019) en una finca de banano orgánico labores como riego se pueden efectuar con sistema de gran cañón, el deshoje se enfoca en cirugía, despunte y control fitosanitario.

Para labores de deschante Azuero, (2019) señala que se deben eliminar partes secas del pseudotallo, evitando desprender zonas verdes para no causar deshidratación en la planta o futuras lesiones, para el control de malezas la hacienda lo efectúa mecánicamente, sin embargo existe también el control químico, que consiste en la incorporación de herbicidas que eliminan todo tipo de maleza.

Dentro de un programa de actividades establecido en una finca o hacienda bananera, se manejan tiempos para cada labor como por ejemplo el enfunde que es la más importante, donde se define la futura producción, sumado a esto están labores de desflore, deschive, protección de manos, deshije, enzunche, apuntalamiento y encinte.

En lo que respecta a la fertilización autores como Martínez et al., (2017) menciona al compost como la principal fuente orgánica elaborado con raquis de banano, residuos, cenizas de cascaras de arroz y granos de café y actinomicetos. Varias investigaciones han demostrado el beneficio del compost en los cultivos agrícolas, mejorando la capacidad de intercambio catiónico gracias a la adición de ácidos húmicos.

1.8.Requerimientos nutricionales del Banano

El banano es uno de los cultivos que más nutriente demanda por hectárea, teniendo la oportunidad para productores, de cosechar hasta 70 ton/ha/año, así mismo permite extraer en la fruta 400, 125 y 15 kg/ha/año de potasio, nitrógeno, fósforo respectivamente, está de más mencionar que estas cantidades deben ser devueltas al suelo a través de un buen programa de fertilización (López & Espinosa, 1995).

1.9.Elementos minerales que nutren el cultivo

Cualquier tipo de cultivo necesita de elementos químicos que le ayuden al crecimiento y desarrollo de la planta, a estos se los conoce como nutrimentos esenciales. Dentro de los mismos están el carbono (C), oxígeno (O) y el hidrógeno (H), que existen en la atmósfera y en el agua, el otro grupo son los que se encuentran en el suelo, el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) son requeridos en grandes cantidades mientras que el calcio, (Ca), magnesio (Mg), y azufre (S) son necesarios en cantidades más bajas, elementos como el zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y sodio (Na) son requeridos aun en cantidades más pequeñas (López & Espinosa, 1995)

1.10. Fertilización del cultivo de banano

Las incorporaciones de nutriente en plantaciones de banano, previamente fueron consideradas con el respectivo análisis de suelo, para mantener un buen manejo de fertilización se recomienda evaluar la finca por lotes, ya que existe variabilidad de suelos dentro de la misma, esto permite obtener mayor eficiencia al momento de efectuar las aplicaciones y demás prácticas del cultivo (López & Espinosa, 1995). Un adecuado uso de fertilizantes incrementa los rendimientos de los cultivos e incluso han mejorado la rentabilidad del sistema productivo (Vivas-Cedeño et al., 2018)

En general, los elementos como nitrógeno y potasio nunca hacen falta en un programa de fertilización debido a los altos contenidos que demanda el cultivo, investigaciones en Costa Rica demostró que dosis de 300 a 320 Kg/ha/año, empleando la urea como fuente y dividiendo las dosis en ocho aplicaciones, obtuvieron mayor rentabilidad y beneficio económico.

Con respecto al potasio es uno de los nutrimentos que más extrae la planta debido a la relación directa que mantiene con el peso de la fruta, se estima que para una buena fertilización potásica se requiere desde 100 a 1200 Kg de K_2O /ha/año, sin embargo López et al., (1995) menciona que dosis de 750 Kg de K_2O /ha/año, aplicada como KCl fraccionada en cinco aplicaciones al año, obtuvo la mejor producción de banano.

Las aplicaciones de fósforo en el cultivo de banano no son tan elevadas si comparamos con los requerimientos de nitrógeno y potasio, en las bananeras en general se necesitan de 0 a 300 Kg de P_2O_5 /ha/año (López & Espinosa, 1995).

1.11. Enmiendas orgánicas

1.11.1. Biocarbón

El biocarbón tiene altos contenidos de carbono (figura 7) que es obtenido a través del calentamiento de la biomasa o materia prima sometida a un proceso de ausencia de oxígeno, éste claramente es diferente al carbón tradicional por emplear solo restos orgánicos (Ruiz & Gomero, 2019).



Figura 7: *Biocarbón de mazorca de cacao.*

Fuente: *Autor.*

El potencial que posee el biocarbón a nivel de suelos se redescubrió a raíz de las investigaciones llevadas a cabo por Wim Sombroek, maestro de toda una corriente en la ciencia del suelo. Sombroek redescubrió que el biocarbón en el suelo actúa de una forma asombrosa, creando en los suelos la capacidad de multiplicar su productividad, disminuyendo la utilización de insumos agrícolas y a su vez reduciendo costos de producción (Quesada Kimzey, 2012)

El biocarbón tiene el beneficio de mejorar las propiedades físicas del suelo, entre ellas Rodríguez et al., (2016) señala que disminuye la densidad aparente, densidad real, aumenta la porosidad y la capacidad de retención de agua, además que permite el desarrollo del sistema radical. Otros autores como Herrera et al., (2018) aluden que mejora la calidad de los suelos, mejora la textura del mismo y a su vez permitiendo incrementar los rendimientos en los cultivos.

La incorporación del biocarbón al suelo es una de las posibilidades para mejorar su fertilidad, para evitar la declinación de propiedades físicas, químicas y biológicas, además de eso puede repercutir en el aumento de la materia orgánica y evitar la erosión del suelo (Escalante et al., 2016).

1.11.2. Materia prima y elaboración

Casi toda la materia prima de origen vegetal puede transformarse en restos de carbón de biomasa o biocarbón, básicamente un proceso igual con lo que pasa con la leña. Además de beneficiar al suelo, contribuye en algo adicional, que es impedir la

exposición del humo en la atmosfera, ya que se elabora en lugares con carencia de oxígeno (Quesada Kimzey, 2012).

Para la obtención del biocarbón (figura 8) se requiere de la principal fuente la biomasa, se puede utilizar casi cualquier biomasa pero es preferible la que es proveniente de origen vegetal, hay diversidad de materiales como por ejemplo, residuos de cultivos agrícolas y forestales, o a partir de plantaciones destinadas a genera biomasa, bosques primarios y secundarios (Quesada Kimzey, 2012). Entre los materiales más citados en bibliografía esta los desechos de papel, residuos orgánicos de urbanizaciones, restos de madera, estiércol, camas de aves y hasta emplean lodos residuales.

En el proceso de elaboración de biocarbón están las tecnologías termoquímicas que convierte la biomasa en fuentes de energía renovable, Escalante et al., (2016) menciona cuatro categorías generales: pirólisis lenta, pirolisis rápida, ultrarrápida y gasificación. La pirolisis se basa en el calentamiento de materiales orgánicos sometidos a altas temperaturas superiores a 400 °C en ausencia de oxígeno.



***Figura 8: Elaboración de biocarbón de cacao.
Fuente: Autor.***

1.12. Biol

El uso de biofertilizantes en los cultivos según Rodríguez et al., (2016) es habitual por dos simples razones; porque son productos de buena calidad y con un bajo costo.

El biol como fertilizante natural es idóneo para promover y estimular el desarrollo de las plantas, además que permite activar el poder germinativo en semillas (Pérez et al., 2013)

La aplicación de biol diluido en agua (figura 9) directamente al suelo resultó muy interesante en la investigación realizada por Rodríguez et al., (2016), donde se obtuvo resultados muy favorables en relación a altura, mezclas de compost y biol favorecieron sobre el número de hojas en plantas de remolacha. El biol es un excelente foliar que brinda coloración agradable a sus hojas y una buena cosecha para hortalizas como haba, papa, maíz, trigo y frutales (Rodríguez Guerra et al., 2016).



Figura 9: Elaboración de biol de trichoderma.

Fuente: autor

La investigación elaborada por Vásquez et al., (2017) probó distintos tratamientos en una especie de pastos con fertilización orgánica a base de compost y biol, evaluó variables como número de plantas germinadas (m^2), altura (cm), número de macollos, la profundidad de raíz (cm) y la cantidad de materia seca (kg/ha). Los resultados fueron positivos en tratamientos con respecto al biol, en la tabla 1 explica detalladamente las variables.

Cuadro 4: Promedios evaluados de 5 variables al 9no mes de establecida/ tratamiento.

| Trat. (t/ha) | Nº de plantas (m2) | altura de planta (cm) | N de macollos | Profundidad de raíz (cm) | Materia seca (kg/ha) |
|--------------|--------------------|-----------------------|---------------|--------------------------|----------------------|
| T1 | 9,5 | 66,1 | 33 | 41,47 | 55,94 |
| T2 | 12,25 | 70,4 | 51,25 | 33,84 | 83,18 |
| T3 | 9,75 | 91,5 | 32,75 | 38,34 | 111,8 |
| T4 | 9,5 | 71,7 | 38 | 59,71 | 75,35 |
| T5 | 11,75 | 104 | 71,5 | 29,42 | 159,45 |
| T6 | 7,25 | 106,5 | 30,5 | 45,3 | 184,17 |
| T7 | 9,25 | 78,65 | 41,25 | 33,06 | 65,77 |
| T8 | 9,75 | 84,2 | 39,75 | 35,27 | 76,9 |
| T9 | 11,5 | 103,35 | 49,25 | 36,83 | 197,22 |
| T10 | 9,75 | 78,2 | 44,75 | 34,5 | 67,52 |

Fuente: (Vásquez & Maravi, 2017)

1.12.1. Elaboración

Para la fabricación del biol (Pérez et al., 2013) , utilizó estiércol, desechos de ramas de origen vegetal, agua de lluvia o destilada, leche y azúcar cruda. Los resultados del biol elaborado a base de estiércol de ovino, presentaron altos contenidos de potasio, fósforo y amonio, además se detectaron contenidos de micronutrientes. Villalón et al., (2018) señala que elaboró el biol en un biodigestor artesanal, empleó como materia prima para el biol foliar: agua, estiércol de bovino, melaza de caña y *Mucuna* sp; para el estiércol de suelo fue igual, a excepción que se agregó la pasta de soya en lugar de la *Mucuna* sp. El proceso de fermentación duró 60 días.

El biol en cultivos como la remolacha se aplicó 2 litros, diluido en 18 litros de agua para un total de 20 litros de agua empleados para cubrir un total de 70,48 m², fue aplicado con una bomba de mochila manual (Rodríguez Guerra et al., 2016)

1.13. Fertilizante Orgánico SiO₂

El silicio combinado con el oxígeno u otros elementos son considerados como silicatos, se encuentra presente en la solución del suelo como ácido monosilícico en forma disponible para la planta (Castellanos González et al., 2015), el silicio es destacado por su trabajo en los componente electrónicos, sin embargo aunque no es un elemento de importancia requerido por la planta, éste resulta ser muy eficiente en el desarrollo y rendimiento de muchos cultivos (Villalón Mendoza et al., 2018).

Se dice que el silicio al ser aplicado en el suelo, es débilmente adherido, por lo que fácilmente se puede perder por lixiviación, sin embargo, los silicatos tienen una

consecuencia importante que permite obtener resistencia contra enfermedades, plagas de insectos y a evitar volcamientos en cultivo de arroz. Otro de los efectos positivos que otorga el silicio es la restauración de la fertilidad de los suelo y eleva la capacidad de intercambio catiónico (Furcal & Herrera, 2013)

Los efectos positivos del silicio (figura 10) en las plantas además de aportar resistencia a plagas y enfermedades o reducir su incidencia, cumple un papel más dinámico, impide la acumulación de sales en exceso en las hojas y logra un equilibrio de contenido de agua, que se refleja en la cantidad de biomasa, agregando tolerancia a la presencia de metales pesados como el zinc (Raya Pérez & Aguirre Mancilla, 2012).



Figura 10: Fertilizante orgánico (SiO₂).

Fuente: autor

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.Zona de estudio

El estudio se realizó en la finca bananera “San Carlos” variedad Cavendish, ubicada en sitio El Porvenir de la parroquia Barbones, cantón El Guabo, provincia de El Oro – Ecuador del propietario José Sánchez Montaña. Los suelos en estudio presentan una clase textural franco-Arenosa.

2.2.Diseño del experimento

Para este estudio se escogió 1,37 Ha de cultivo de banano, dividiéndolo en cuatro partes iguales, quedando 4 parcelas para el estudio, asignando tres tratamientos y un tratamiento control; cada uno conformado por diez repeticiones. Tres de estas parcelas consisten en aplicar dosis de biochar (10 gr, 20 gr, 30 gr), en combinación con biol de *trichoderma spp* (1 lts, 1.5 lts, 2.5 lts) y un fertilizante orgánico (100 gr SiO₂) y en la cuarta parcela se realizó la aplicación del fertilizante orgánico (100 gr SiO₂)

2.3.Hipótesis

Se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H₀): ¿Existe un efecto en el desarrollo vegetativo del cultivo de banano clon Cavendish al aplicar diferentes tratamientos de biochar + biol y SiO₂ en suelos de clase textural franco arenoso?

Hipótesis alternativa (H_a): ¿No existe un efecto en el desarrollo vegetativo del cultivo de banano clon Cavendish al aplicar diferentes tratamientos de biochar + biol y SiO₂ en suelos de clase textural franco arenoso?

2.4.Parámetros objeto de estudio

Los parámetros que se tomaron en el proceso de esta investigación fueron altura del hijo, grosor del pseudotallo, número de hojas del hijo, número de hojas de la planta madre, peso de racimo, porcentaje de raíces.

2.4.1. Medición de la altura de la planta

La medición de la altura de las plantas (hijo) se realizó en metros (m), a todos los tratamientos que se estudiaron, para esta medición se ocupó una cinta métrica; tomando desde la superficie del suelo hasta la parte superior donde termina el tallo. Datos que fueron tomados cada 15 días hasta la segunda aplicación de los tratamientos.

2.4.2. Grosor del pseudotallo

La medición se realizó en la circunferencia de la parte media del pseudotallo, con ayuda de una cinta métrica, datos que fueron recolectados cada 15 día, desde que se empezó la investigación hasta la parición de las plantas.

2.4.3. Número de hojas del hijo

El conteo de número de hojas se les realizó a todas las plantas, haciendo la toma de datos de esta variable cada 15 días, hasta la parición de las plantas.

2.4.4. Número de hojas de la planta madre

El conteo de las hojas de la planta madre se realizó al inicio cuando seleccionó las plantas para iniciar la investigación y al final de la cosecha, con la finalidad de determinar la cantidad de hojas pérdidas durante su proceso fisiológico, hasta llegar a la cosecha.

2.4.5. Peso de racimo

El peso de los racimos se realizó al momento de la cosecha a todos los tratamientos, utilizando una balanza de resorte (kg).

2.4.6. Número de manos del racimo

El conteo del número de manos se les realizó a todos los tratamientos, es decir a cada racimo cosechado (40 racimos), para luego determinar su promedio.

2.4.7. Porcentaje de raíces

Para determinar el porcentaje de raíces se obtuvo una porción de suelo sacado cuidadosamente alrededor de la planta con 25 cm de ancho por 25 cm de largo y 25 cm de profundidad, para luego colocarlo en un recipiente limpio, lavarlas, secarlas a

temperatura ambiente y finamente pesarlas con ayuda de una balanza (gr). este procedimiento se les realizó a tres plantas por tratamiento.

2.5. Obtención de la materia prima

2.5.1. Biomasa de la cáscara de cacao.

Las mazorcas de cacao (figura 11) cosechadas fueron recolectadas de una finca cacaotera del cantón de El Guabo (El Oro-Ecuador). Se utilizó este tipo de biomasa por su alto contenido de lignina y celulosa que permite obtener carbones con mayor superficie específica, propiedad que incrementa la absorción de los metales y facilita el crecimiento de los ME. (Sánchez Pilcorema et al., 2020)



Figura 11. Cascaras de mazorca de cacao.

Fuente: Autor.

2.5.2. Producción del biocarbón

La metodología utilizada para la obtención de biocarbón fue tomada de (Marín et al., 2018), y consistió en introducir 7 kg de la materia prima (biomasa seca de la cáscara de cacao) en un tanque metálico de 70 cm de largo por 40 cm de ancho, cerrado con una tapa metálica (Figura 12 A), para ser introducido dentro de un tanque más grande de 120 cm de alto por 50 cm de ancho (Figura 12 B). A continuación, se llenó los espacios de tanque más grande con leña para iniciar el proceso de calcinación y producir biocarbón vegetal (Figura 12 C). El tiempo de incineración fue de 3 horas.

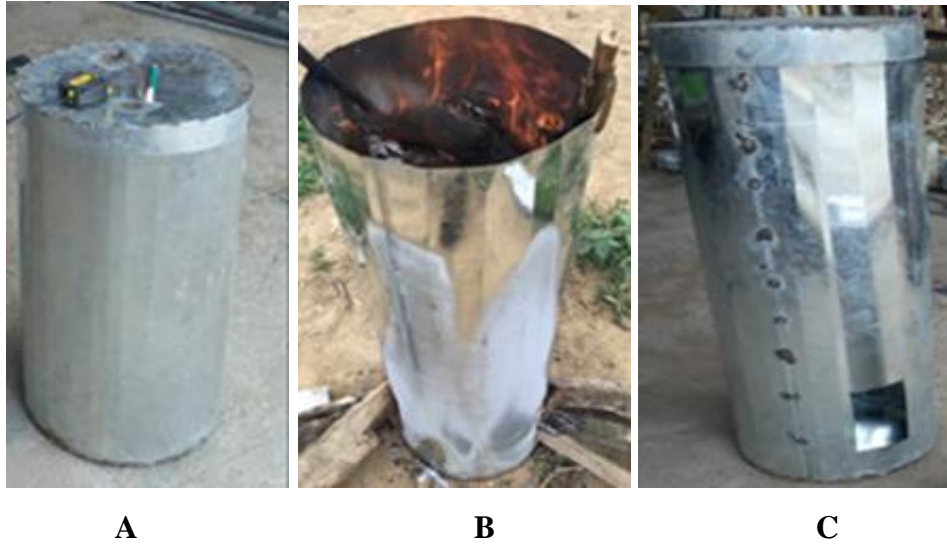


Figura 12: Elaboración de horno para producción de biocarbon.
Fuente: Autor.

2.5.3. Características del biocarbón

El biocarbon o biochar es un producto que está conformado por una estructura fina y porosa. Ya que tiene constituidas en sus partículas cargas eléctricas capaces para la absorción y adsorción de metales pesados (figura 13 A). La aplicación del biocarbon al incorporarse al suelo trae consigo muchos beneficios como es el incremento del porcentaje de materia orgánica a los suelos y la diversificación de la actividad microbiana, obtener un pH óptimo, una humedad relativa adecuada, atribuyendo también a la capacidad de intercambio catiónico (Figura 13 B).



A **B**
Figura 13: Biocarbon vegetal de cacao.
Fuente: Autor.

2.6. Obtención de la cepa de *Trichoderma spp.*

La cepa de *Trichoderma spp.* (Figura 14), se obtuvo una suspensión comercial (Bio Fertilizante Orgánico de *Trichoderma*) a una concentración de $10 \cdot 10^{11}$ UFC (unidades formadoras de colonias), producto formulado por la empresa FENEC S.A. (Sánchez Pilcorema et al., 2020)

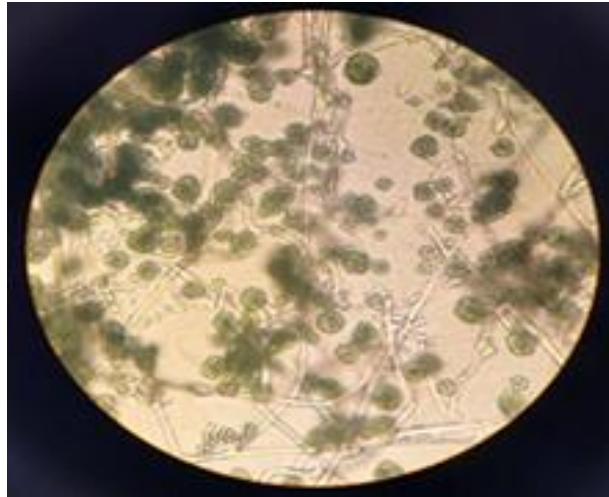


Figura 14: *Trichoderma spp.* observado en aumento 100 x.

Fuente: Autor.

El medio de cultivo estuvo constituido de 39 g de papa dextrosa agar (PDA) para un 1 litro de agua destilada. Luego se dispensó 20 ml de PDA en cajas de Petri; a continuación, se agregó 1 ml de la suspensión comercial de *Trichoderma spp.*, con ayuda de un asa de Drigalsky, se distribuyó la suspensión en toda la caja. (Sánchez Pilcorema et al., 2020)

2.6.1. Preparación para siembra de *trichoderma spp.*

- Previo a esto se procedió a lavar bien los recipientes con agua y jabón, y enjuague con agua destilada y finalmente con alcohol antiséptico.
- Se procedió a lavar el arroz, hasta que el agua de enjuague sea totalmente transparente y así poder tener un mejor desarrollo del hongo.
- Con ayuda de una cocina eléctrica, se cocinó el arroz a fuego lento, hasta obtener el arroz suficientemente suelto y con el corazón duro; en un tiempo no mayor de 5 min, ya que es fundamental para el desarrollo de *trichoderma spp.*
- Escurrir el arroz para luego colocarlo en las botellas y fundas con un peso de 120 gr en cada botella.

- Se elaboraron tapones con gasa, algodón y piola de algodón a las medidas de las botellas; para que queden totalmente ajustados y tapadas.
- Finalmente se procedió a autoclavar a una temperatura de 121 °C por 20 o 25 min, para esterilizar las botellas, el arroz y los materiales que se utilizaran para la siembra.



Figura 15: Cocido de arroz para siembra de *trichoderma spp.*
Fuente: Autor.

2.6.2. Siembra de *trichoderma spp.*

- Las botellas y fundas con arroz, deben estar previamente esterilizadas.
- Encender dos mecheros dentro de la cámara de siembra
- Con un bisturí flameado en los mecheros, cortar un recuadro pequeño (0.5 x 0.5 cm) en el medio de cultivo que contiene la cepa (*Trichoderma spp.*) y colocarlo en el arroz dentro de la botella.
- Una vez colocada la cepa que contiene la cepa (*Trichoderma spp.*), se flamea la boca del recipiente, para luego colocarle el tapón de algodón con papel aluminio y finalmente se le coloca papel film alrededor del tapón de la botella.
- Al finalizar este proceso, agita la botella para que el inóculo introducido se disperse por todo el arroz.
- Colocar los recipientes en un lugar adecuado con ausencia de luz, para que la siembra de *Trichoderma spp.* sea mucho más efectiva y el hongo tenga una excelente esporulación.

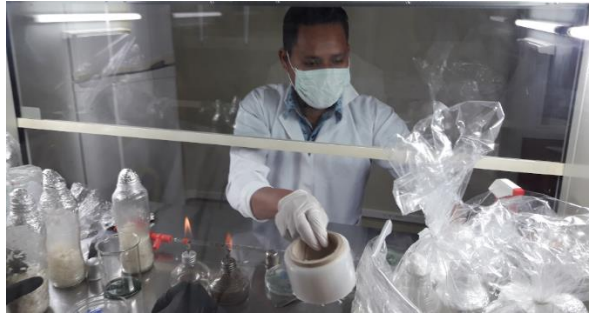


Figura 16: Siembra de *trichoderma spp.*

Fuente: Autor.

2.7.Elaboración de un biofermentado o biol de *trichoderma spp.*

- Utilizamos un tanque 100 litros para hacer de solución madre de microorganismos (EMAs).
- Colocar el 50% de agua en el tanque de 100 lt, Luego agregar 2 litros de leche, 2 litros de melaza, 1 kilo de leguminosa en este estudio utilizamos alfalfa, 14 gr de levadura; y con ayuda de una paleta de madera mover lentamente hasta que los ingredientes se disuelvan completamente.
- En un tanque pequeño colocar los microorganismos eficientes (*trichoderma spp.*) con un peso de 1375 gr, agregar 25% de agua y disolver.
- Una vez preparadas las dos soluciones por separado, agregamos poco a poco los microorganismos eficientes al tanque de 100 lt y revolvemos con la paleta hasta obtener una solución homogénea.
- Completar en el tanque los 25% de agua faltante, disolver por 15 min y con plástico negro tapar completamente el tanque y lo colocamos en un lugar sin presencia de luz, esperamos de 8 a 15 días para obtener un buen biofermentado.



Figura 17: Biofermentado de *trichoderma spp.*

Fuente: Autor.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Altura de planta de banano

Se realizó un ANOVA de un factor, para comprobar el porcentaje de eficiencia que tuvieron los tratamientos para la variable altura, y determinar si encontramos significancia estadísticamente. Mostrando en el (cuadro 5), que no existe significancia.

Cuadro 5: Anova crecimiento de la altura de planta

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|------------------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| Entre grupos | 3035,075 | 3 | 1011,692 | 1,641 | 0,197 |
| Dentro de grupos | 22189,7 | 36 | 616,381 | | |
| Total | 25224,775 | 39 | | | |

En la **figura 18**, mediante la prueba de post hoc (Duncan) ($p < 0,05$), podemos evidenciar que la altura es mayor en el tratamiento T1 (217.80 cm), donde se observa que las dosis utilizadas si presentaron incidencia en el crecimiento. donde la aplicación del biocarbon o biochar agilizo el crecimiento de las plantas y agrega cambios positivos al suelo, en confinación con un biofermentado de trichoderma spp., que es utilizado como un mecanismo de biocontrol contra los hongos fitopatógenos, ayudando también a la degradación de los residuos sólidos y oxido de silicio que es utilizado porque ayuda a un mejor aprovechamiento de los nutrientes en el suelo. mientras que en el tratamiento control T0 alcanzó una altura de (195.40 cm), donde observamos una diferencia de 22.40 cm; en el crecimiento en la altura de planta de banano desde el inicio de la investigación hasta la última toma de datos.

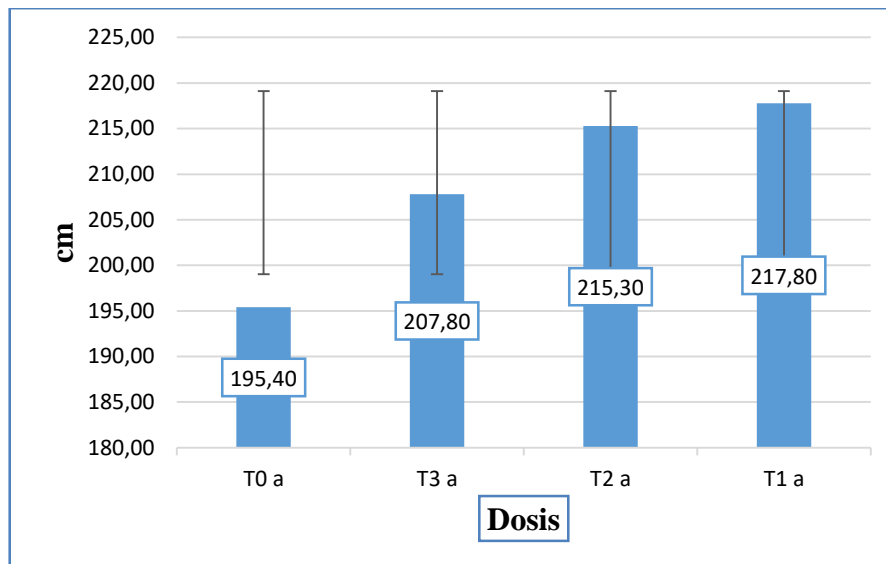


Figura 18: Crecimiento de altura de hijo.

3.2. Grosor de pseudotallo

Cuadro 6: Anova Grosor del pseudotallo.

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------------------|-------------------|----|------------------|--------|-------|
| Entre grupos | 3035,075 | 3 | 58,025 | 11,985 | 0'001 |
| Dentro de grupos | 22189,7 | 36 | 4,842 | | |
| Total | 348,375 | 39 | | | |

En la **figura 19**, mediante una prueba post hoc (Duncan) ($p < 0,05$), las medias del grosor del pseudotallo si presentan diferencia significativa (sig. 0,00). Donde observamos que el tratamiento T1 obtuvimos un grosor de pseudotallo (56,60 cm), a diferencia de los tratamientos T2 (53,70 cm), T3 (53,10 cm) y el tratamiento control T0 (52,10 cm). que presentaron un menor grosor con una diferencia de tan solo 4.5 cm. Determinando que en dosis controladas utilizadas de los tratamientos en este caso la dosis utilizada en el T1 (100 gr SiO₂, 10 gr de biochar de cacao, biofermentado de trichoderma spp. 10 %) si presenta incidencia en el crecimiento de la circunferencia del grosor del pseudotallo.

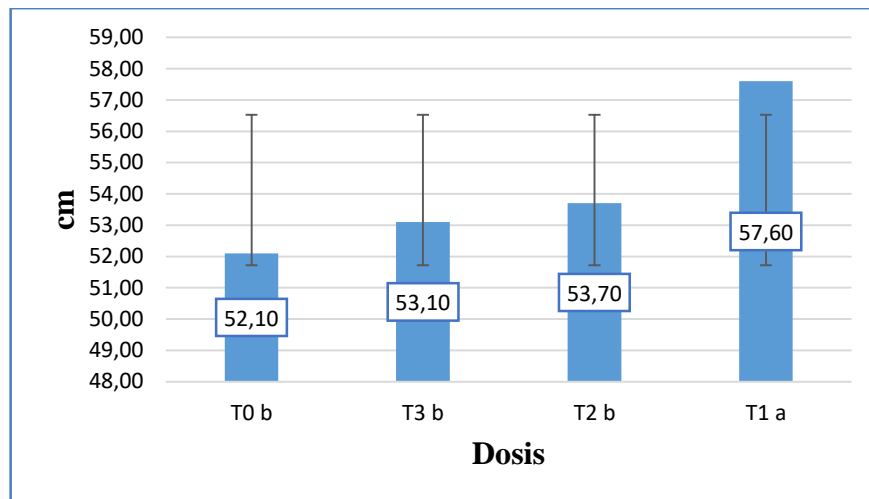


Figura 19: Grosor del pseudotallo de la planta de banano

3.3. Número de hojas del hijo

Cuadro 7: Anova número de hojas del hijo.

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------------------|-------------------|----|------------------|--------|------|
| Entre grupos | 48,2 | 3 | 16,067 | 13,205 | 0 |
| Dentro de grupos | 43,8 | 36 | 1,217 | | |
| Total | 92 | 39 | | | |

En la **figura 20**, mediante una prueba post hoc (Duncan) ($p < 0,05$), las medias del número de hojas del hijo si presentaron significancia estadísticamente (0,00). Donde observamos una homogeneidad en la cantidad de hojas del hijo, en el tratamiento control T0 (11 hojas) y tratamiento T2 (11 hojas), a diferencia del tratamiento T1 (9 hojas) y el tratamiento T3 (8). Donde hay estudios que afirman que la cantidad de hojas mínima antes de la parición en las plantas de banano debe ser de 8 hojas. y como observamos el tratamiento T0 y T2 las aplicaciones de los tratamientos en dosis controladas si presentaron una pequeña incidencia. reiterando también que hasta el momento no hay estudios que demuestren que el biochar o biocarbon tenga incidencia en la emisión foliar, más si tiene muestran resultados en el crecimiento de la planta, pseudotallo y fruto.

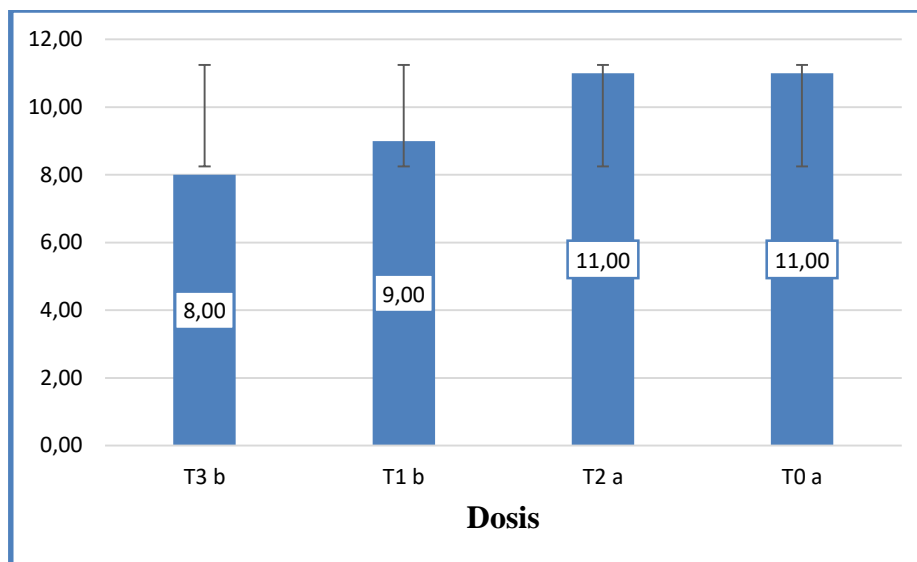


Figura 20: Número de hojas de la planta de banano.

3.4. Peso de racimos

Para determinar si el peso del racimo de banano, presenta diferencia significativa se le aplico un ANOVA de un factor. Donde observamos una significancia de (0,01). y mediante una prueba post hoc (Duncan) ($p < 0,05$), Observamos en la **Figura 21**, que los tratamientos T3, T2 y T1, donde se les aplico los tratamientos en dosis controladas si presentaron un peso de racimo muy parecidos. Mostrando en el tratamiento T3 un peso mayor de racimo con 23.70 kg (100 gr SiO₂, 30 gr de biochar de cacao, biol 25 %); a diferencia del tratamiento control, que solo se le aplico el fertilizante orgánico, llegamos a obtener un peso de 17,40 kg (100 gr SiO₂) con una diferencia de 6.35 kg aproximadamente. Dando a conocer que la aplicación de biocarbón y biol de trichoderma spp., si aportan de manera positiva al peso del racimo a comparación del tratamiento control T0, ya que los efectos del biocarbón incrementa la acción con el biol, aumentando la actividad microbiana en el suelo y mejor absorción de los nutrientes mineral logrando un mayor peso de esta variable.

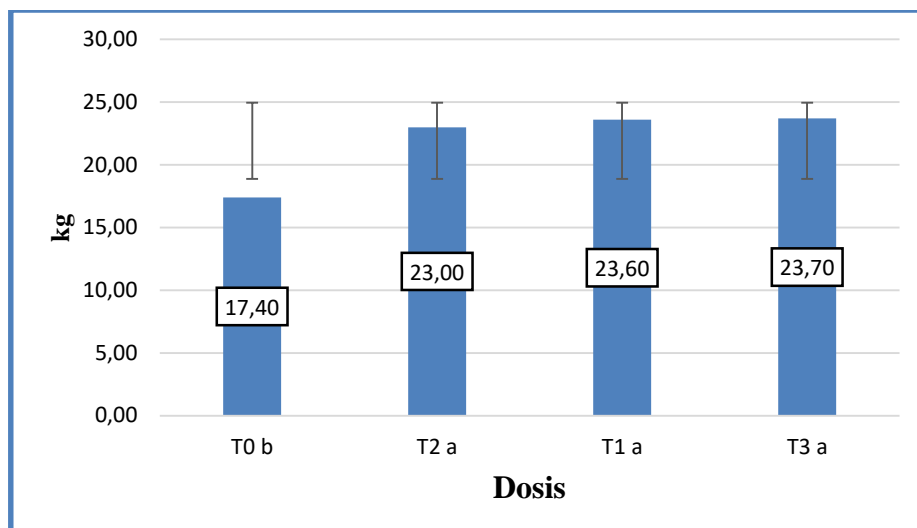


Figura 21: Peso de racimos de banano.

3.5. Número de manos de racimo

En la **figura 22**, mediante una prueba post hoc (Duncan) ($p < 0,05$), observamos que los tratamientos T1, T3 y el tratamiento control T0; presentan una homogeneidad en sus números de manos, con 5 manos cada racimo, al igual que el tratamiento T2 que presenta 6 manos, donde según el ANOVA de un factor aplicado a sus medias, no presentan diferencias significativas estadísticamente.

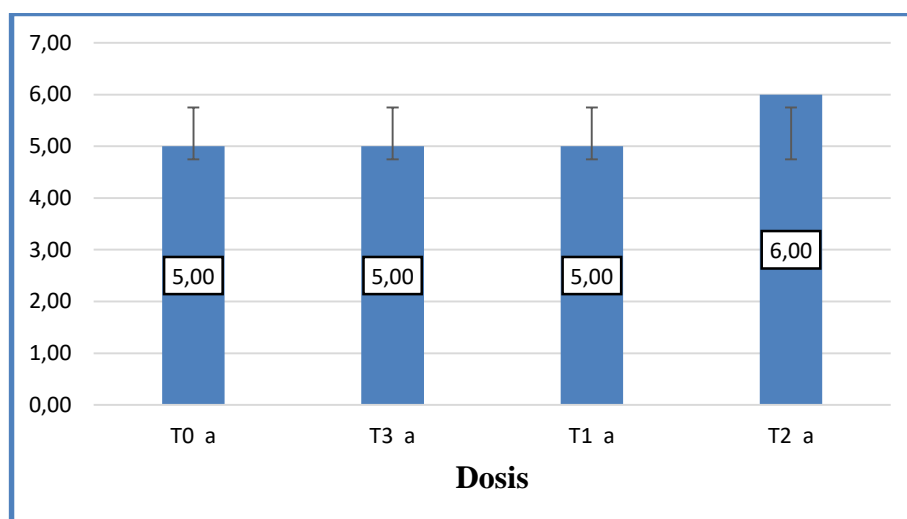


Figura 22: Número de manos del racimo de banano

3.6. Número de hojas de la planta madre

En la **figura 23**, según el análisis de ANOVA de un factor y mediante una prueba post hoc (Duncan) ($p < 0,05$), observamos que los tratamientos T1, T2, T3 si presentaron diferencia significativa, ante el tratamiento control T0. Dando como resultado que el tratamiento T1 con una dosis de (100 gr SiO₂, 10 gr de biochar de cacao, biol 10 %), llegamos a la cosecha con un número considerable de hojas (9 hojas); a diferencia del tratamiento control T0 se cosecho con un número menor de hojas (6 hojas).

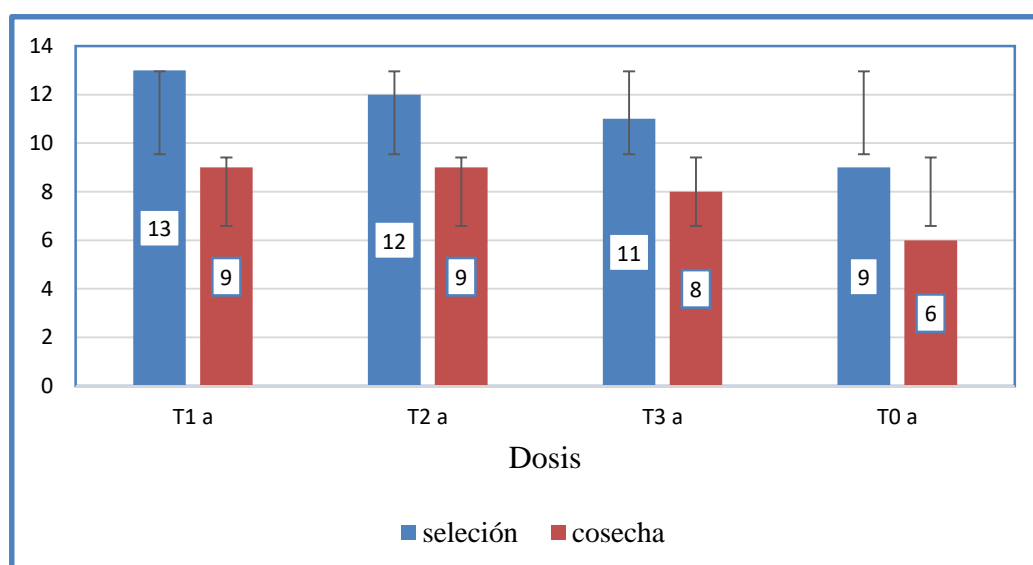


Figura 23: Número de hojas de la planta madre.

3.7. Diferencia de hoja del hijo

En la **figura 24**, según el análisis ANOVA de un factor, no presenta diferencia significativa, a los datos tomados al inicio cuando se seleccionó las plantas para el estudio hasta la parición, según una prueba post hoc (Duncan) ($p < 0,05$) realizada, Observamos que los tratamientos T1 y T2 y tratamiento control T0 presentan una homogeneidad en sus resultados con 2 hojas por tratamiento, a diferencia del tratamiento T1 que presento 1 hoja.

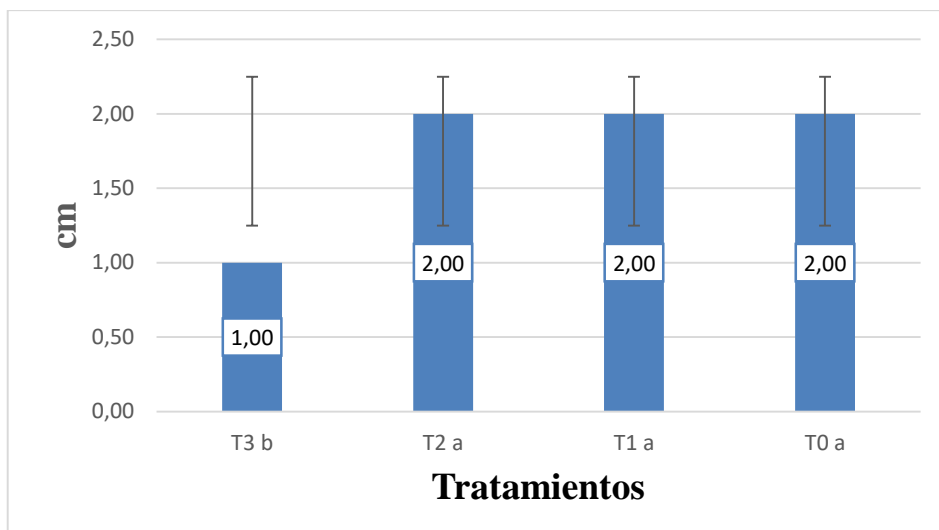


Figura 24: Diferencia del número de hojas del hijo.

3.8. Diferencia del pseudotallo del hijo

En la **figura 25**, según el análisis de ANOVA de un factor y mediante una prueba post hoc (Duncan) ($p < 0,05$), en la diferencia del grosor del pseudotallo si presenta diferencia significativa (0,001). Donde observamos que en el tratamiento T1 obtuvimos un grosor de 36,70 cm. A diferencia del tratamiento testigo T0 que presento 31.90 cm.

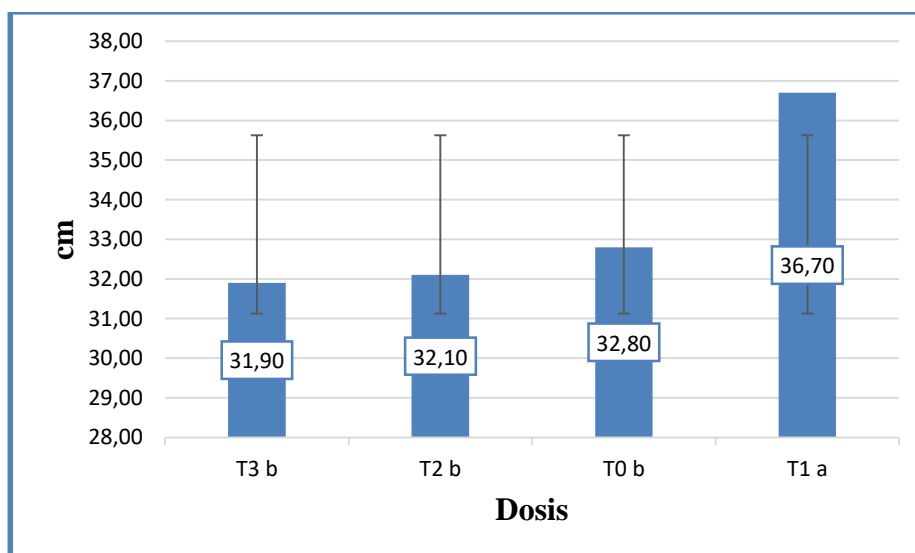


Figura 25: Diferencia del pseudotallo del hijo.

3.9. Peso de raíces

Según la **figura 26**, observamos que el tratamiento T2 presenta un peso mayor de raíces (97,01 gr), mientras que los tratamientos T1 y T0 muestra un peso promedio de (46,55 y 23,79 gr), a diferencia del T3 que su peso de raíces por planta de banano fue menor con 17,23 gr. Dando como resultados que la aplicación de dosis mayores de 30 gr de biocarbón puede inhibir el crecimiento y fortalecimiento de las raíces y por tanto la no mantiene firme la planta y se volca.

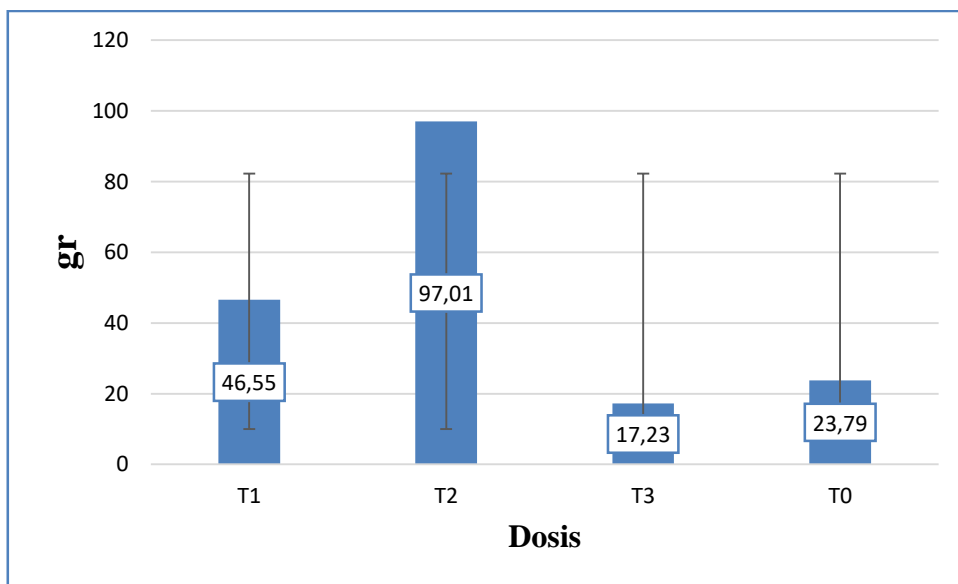


Figura 26: Peso de raíces.

IV. CONCLUSIONES

Entre los cuatro tratamientos aplicados dos de ellos presentaron mejores resultados el T1 y T2 (10 y 20 gr de biocarbón), aplicados por plantas si presentaron diferencia significativa, indicándonos que si es recomendable la aplicación de biocarbón en su suelo franco arenoso como enmienda edáfica para el cultivo de banano y poder obtener una mejor rentabilidad y producción.

El efecto de los tratamientos fue notorio, en particular en el T1 y T2, frente al testigo. Se confirman hallazgos que dosis mayores de 30 gr de biochar por planta puede alcalinizar el suelo e inhibir la acción de biol y de esta forma disminuir los efectos sobre la planta.

El biocarbón es unas de las enmiendas orgánicas que es utilizado por sus considerables efectos que producen el mejoramiento de las propiedades del suelo, influyendo también la actividad microbiana, permitiéndonos obtener un suelo fortalecido para la producción de los cultivos. Demostrando desde el punto de vista productivo que la aplicación de biocarbón en dosis controladas como el T1 y T2 (10 y 20 gr de biocarbón), nos permite obtener mejor producción.

V. RECOMENDACIONES

Evitar el mal uso de agroquímicos que es el principal problema que presentan nuestros suelos bananeros, ya que los metales pesados que vienen en sus formulaciones químicas quedan en la superficie del suelo, bajando los porcentajes de materia orgánica, la actividad microbiana y causando la compactación de los mismo, lo que hace que nuestra productividad cada vez sea menor.

Utilizar enmiendas orgánicas, como biocarbon, biol de trichoderma y fertilizantes orgánicos que puedan incrementar el porcentaje de materia orgánica a los suelos bananeros, mantener un pH óptimo para la producción de nuestros cultivos y principalmente cuidar el medio ambiente.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga, F. (2015). Origen y evolución del Banano. *Universidad Nacional De Colombia, 1*, 11.
- Azuero, B. (2020). *Efecto del biocarbón y microorganismos en la producción y estado fitosanitario de banano orgánico en la parroquia “La Victoria”* (Vol. 9). Universidad Técnica de Machala.
- Azuero Gaona, B. (2019). *Efecto del biocarbon y microorganismos en la produc*López, A., & Espinosa, J. (1995). *Manual de nutrición y fertilización del ba*Azuero Gaona, B. (2019). *Efecto del biocarbon y microorganismos en la producción y estado fitosanitario de banano organico en la*. 67.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15166>
- 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.
- Becerra, J. (1999). *Caracterización Fenológica del Plátano* [Universidad Agraria del Ecuador].
<https://books.google.com.ec/books?id=5X8zAQAAMAAJ&pg=PA18&dq=inflorescencia+de+banano&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjHu6fAluXrAhXLq1kKHeMvC0IQ6AEwAnoECAQQAg#v=onepage&q=inflorescencia de banano&f=false>
- Brando Cevallos. (1836). *Aporte en Nuestra Economía*.
- Castaño, Á. M., Aristizábal, M., & González, H. (2012). Requerimientos hídricos del plátano dominico- hartón (Musa AAB Simmonds) en la región santágueda (Palestina, Caldas). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(2), 331–338. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n2.2012.831>
- Castellanos González, L., De Mello Prado, R., & Silva Campos, C. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 36, 16–24.
- Castro, G., & Chiquillo, H. (2016). Evaluación de tres alternativas de fertiriego en el establecimiento del cultivo de plátano (musa paradisiaca/harton cv) en el Yopal, Casanare. *Ingeniería y Región*, 16(2), 49. <https://doi.org/10.25054/22161325.1298>
- Céspedes Ramírez, C., Fernández Tapia, A., & Brenes Gamboa, S. (2011).

- Development of the productive cycle and the geographical location of the banana of height produced in Turrialba, Costa Rica. *InterSedes*, 11(20), 92–106.
- Cigales, M., & Pérez, O. (2011). Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 15(3), 21–31.
- Cortés, G., & Lizano, J. R. (1994). Producción Frutícola. In *Atlas agropecuario de Costa Rica* (Primera, p. 532).
- Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., Hospido, A., Roibas, L., Skully, D., Siles, P., Arguello, J., Sotomayor, I., & Bustamante, A. (2015). *Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Espinosa Velepucha, Y., Quevedo Guerrero, J., & García Batista, R. (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. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Furcal, P., & Herrera, A. (2013). Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 365–378.
- Galan, V., Rangel, A., Lopez, J., Hernandez, J. B., Sandoval, J., & Rocha, H. (2018). Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018574>
- Hernández, Y., Marín, M., & García, J. (2007). Response to the plantain (*Musa AAB* cv. Horn) yield as a function of the mineral nutrients and its phenological cycle. Part I. Growth and Production. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 24(4).
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000400001

- Herrera, E., Feijoo, C., Alfaro, R., Solís, J., Gómez, M., Keiski, R., & Cruz, G. (2018). Biochar based on residual biomasses and its influence over seedling emergence and growth in vivarium of *Capparis scabrida* (Sapote). *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 569–577. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.13>
- Hoyos Leyva, J. D., Jaramillo Jiménez, P. A., Giraldo Toro, A., Dufour, D., Sánchez, T., & Lucas Aguirre, J. C. (2012). Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (*Musa* spp.). *Acta Agronomica*, 61(3), 214–229.
- Lacerda Filho, R., Cruz da Silva, A. V., Mendonça, V., & Tavares, J. C. (2004). Densidade do sistema radicular da bananeira “Pacovan” sob irrigação por aspersão. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(3), 538–539. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452004000300039>
- León, J. (2000). Sección EUMUSA. In *Botánica de los Cultivos Tropicales* (Tercera, pp. 462–472). Agroamérica del IICA. <https://books.google.com.ec/books?id=NBtu79LJ4h4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- López, A., & Espinosa, J. (1995). Manual de nutrición y fertilización del baAzuero Gaona, B. (2019). Efecto del biocarbon y microorganismos en la producción y estado fitosanitario de banano organico en la parroquia “La Victoria” [Uniersidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachal>. In *International Plant Nutrition Institute* (Vol. 1, pp. 13–20). <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CEDOC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003976>
- Marín, J., García, R., & Barrezueta-Unda, S. (2018). Elaboracion de biocarbón obtenido a partir de la cáscara cacao y raqui de banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 75–81.
- Martínez, A. M., & Hoyos Carvajal, L. (2012). Desarrollo y Madurez del Fruto. In *Manual para el cultivo de Frutales en Trópico* (Octubre). Producción de Medios de Comunicación. https://books.google.com.ec/books?id=g_z1DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

- Martínez Estrada, M. E., & Encalada Pardo, N. L. (2017). Producción de banano orgánico, una experiencia exitosa en La Sabana del cantón Pasaje, provincia El Oro, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 51, 21–27.
<http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index%0ARESUMEN>
- Mogollon, J. P., Martinez, A., & Rivas, W. (2014). Degradación química de suelos agrícolas en la península de paraguana, venezuela. *Sociedad Colombiana de La Ciencia Del Suelo*, September.
- Molina, N. A., Scribano, F., Tenaglia, G., & Rodríguez, D. (2016). Análisis técnico y económico para la producción de banana y mango en Formosa. In *EEA INTA Bella Vista* –.
- Montoya López, J., Quintero Castaño, D. V., & Lucas Aguirre, J. C. (2015). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agronomica*, 64(1), 11–21.
<https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.38814>
- Munoz Iniestra, D. J., Ferreira Ramirez, M., Escalante Arriaga, I. B., & Lopez Garcia, J. (2013). Relationship between land cover and physical and biological degradation an alluvial soil in a semiarid region. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 201–210.
- Orozco Santos, M., Orozco Romero, J., Pérez Zamora, O., & Manzo Sánchez, G. (2008). Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*, 33(3), 189–196.
- Pardo Jiménez, G. E., Nárvaez Zurita, C. I., & Erazo Álvaro, J. C. (2020). Análisis del impacto tributario y contable por las variaciones del precio de la caja de banano en los productores del cantón Machala, Ecuador. *Dominio de Las Ciencias*, 6(1), 396–428. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i1.1154> Ciencia
- Pérez, M., Peña, E., Amado, S., Batista, Y., & Hechavarría, A. (2013). *Producción de biol y determinación de sus características físico- químicas*.
- Quesada Kimzey, J. (2012). La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(5), 14.
<https://doi.org/10.18845/tm.v25i5.465>
- Ramirez, T. (2003). Obtención de híbridos de bananos en el Programa de Mejoramiento

- Genético de Musa spp. *Researchgate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2558.1204>
- Ranieri, L. M., & De Oliveira Delani, T. C. (2014). Banana Verde (Musa spp): Obtenção da biomassa e ações fisiológicas do amido resistente. *Revista Uningá Review*, 20(3). <http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1602>
- Raya Pérez, J., & Aguirre Mancilla, C. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *ConCiencia Tecnológica*, 43, 42–46.
- Rios, E. V. (2014). Caracteres principales, ventajas y beneficios agrícolas que aporta el uso de Trichoderma como control biológico. *Agroecosistemas*, 2(1), 2071–2079. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.06.007>
- Rodríguez, C., Cayón, G., & Mira, J. J. (2006). Influencia del seudotallo de la planta madre cosechada sobre el crecimiento y producción del hijo de sucesión en banano (Musa AAA Simmonds). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 274–279.
- Rodríguez Guerra, Y., Alemán Pérez, R., Domínguez Brito, J., Soria, S., Hernández, H., Salazar, C., & Jara, M. (2016). Efecto de dos abonos orgánicos (compost y biol) sobre el desarrollo morfológico de Beta vulgaris L. var. cicla bajo condiciones de invernadero. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(2), 103–117.
- Ruiz, K., & Gomero, L. (2019). El Biocarbón y su Uso en la recuperación de Suelos Áridos. *Universidad Científica Del Sur*, 16.
- Sánchez Pilcorema, S. E., Condoy Gorotiza, A., Sisalima Morales, P., Barrezueta Unda, S., & Jaramillo Aguilar, E. (2020). Uso de biocarbones en medios de cultivo para el crecimiento de trichoderma spp. in vitro. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 8(2631–2662), 7.
- UNCTAD. (2016). Banano. In *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Comercio y Desarrollo UNCTAD*. http://unctad.org/es/PublicationsLibrary/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 en Costa Rica*.
- Vásquez Castillo, W., Racines Oliva, M., Moncayo, P., Viera, W., & Seraquive, M. (2019). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (Musa

- acuminata) en el Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(4), 57–66.
<https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.545>
- Vásquez, H., & Maravi, C. (2017). Efecto de fertilización orgánica (biol y compost) en el estableci- miento de morera (*Morus alba* L .). *Revista RICBA 1(1):*, 1(1), 33–39.
<https://doi.org/10.25127/ricba.201701.004>
- Villalón Mendoza, H., Castillo Villarreal, M., Garza Ocañas, Fortunato Guevara
 González, J., & Sánchez Castillo, L. (2018). Dióxido de silicio como estimulante del índice de calidad de plantas de chile piquín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) producidas en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 295–303. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.247>
- Villanueva, V. A., Añazco Correa, C. D., & Bonisoli, L. (2020). Introducción de marca de banano orgánico en el mercado ecuatoriano. *INNOVA Research Journal*, 5(1), 166–183. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n1.2020.1150>
- Vivas-Cedeño, J. S., Robles-García, J. O., González-Ramírez, I., Álava-Cruz, D. A., & Meza-Loor, M. A. (2018). Fertilización del plátano con nitrógeno, fósforo y potasio en cultivo establecido. *Dominio de Las Ciencias*, 4(1), 633.
<https://doi.org/10.23857/dc.v4i1.772>
- Zambrano, H., Berrezueta, S., García, R., & Alemán, R. (2017). Poblaciones de *Frankliniella Parvula* en lotes cultivados con banano orgánico en La Peaña, provincia El Oro. *Revista Científica Agroecosistemas*, 86–92.
<http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

ANEXOS



Anexo 1: Quema para la obtención del biocarbon de cacao



Anexo 2: Materia prima en el tanque de quema y obtención de biocarbon o biochar de cacao.



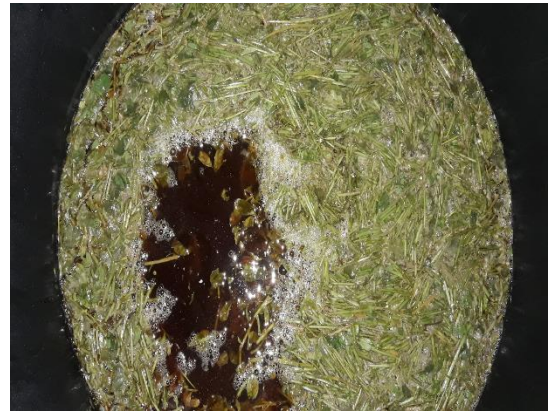
Anexo 3: Cocido de arroz para la siembra de trichoderma spp.



Anexo 4: Siembra de trichoderma spp.



Anexo 5: Cosecha de trichoderma spp.



Anexo 6: Elaboración del biofermentado o biol de trichoderma spp.



Anexo 7: Cosecha del biofermentado o biol de trichoderma spp.



Anexo 8: Selección de las plantas para el estudio.



Anexo 9: Toma de datos (altura de planta y grosor de pseudotallo)



Anexo 10: Aplicación del fertilizante (SiO_2) + biocarbon + biol de trichoderma spp.