

**UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN PRODUCCIÓN
VEGETAL**

**ENMIENDAS EDÁFICAS DE BIOCARBONES Y SiO_2 EN PLANTAS DE BANANO
CON MANEJO DE AGRICULTURA ORGÁNICA**

ING. DARWIN ALFREDO ROCAFUERTE VELEZ

**“ARTÍCULO PROFESIONAL DE ALTO NIVEL EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN AGRONOMÍA MENCIÓN PRODUCCIÓN VEGETAL”**

TUTOR: SALOMON BARREZUETA UNDA, PHD.

MACHALA

2022

PENSAMIENTO

Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras el género humano no la escucha

Victor Hugo

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi amada familia, mi papa Hugo Rocafuerte, mama Guillermina Vélez, esposa Elizabeth Andrade, mis hijos Iker y Paulette Rocafuerte, y todos quienes han ayudado en mi formación académica.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), al centro de posgrados de la UTMACH y al Comité Académico de Investigación Científica de la Facultad de Agronomía que aprobó y dio las facilidades que se requieren para poder conseguir un título más a mi formación personal.

Ing. Salomón Barrezueta Unda, PhD, tutor del trabajo de investigación por su gran apoyo y voluntad que tuvo durante todo el proceso; planteamiento del tema, trabajo de campo, laboratorio e informe final. Al Ing. Edison Jaramillo Aguilar Ms.Sc. cotutor, que colaboró de forma muy voluntaria en la estructura final del trabajo. A todos los profesores que de una u otra forma impartieron sus altos conocimientos durante cada módulo dictado.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Por medio de la presente declaro ante el Comité de la Maestría en *Agronomía* mención en *Producción Vegetal* de la Universidad Técnica de Machala, que el trabajo de titulación titulado *Enmiendas edáficas de biocarbones y SiO₂ en plantas de banano con manejo de agricultura orgánica* de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona al no ser referenciado debidamente en el texto: parte de ella o en su totalidad no ha sido aceptada para el otorgamiento de cualquier otro diploma de una institución nacional o extranjera.

Ing. Darwin Rocafuerte Vélez

0923775969

Machala, 17 de Octubre de 2022.

REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN

ENMIENDAS EDÁFICAS DE BIOCARBONES Y SIO₂ EN PLANTAS DE BANANO CON MANEJO DE AGRICULTURA ORGÁNICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 4% | 4% | 1% | % |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|---|---------------|
| 1 | revistas.utm.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 2 | www.scipedia.com Fuente de Internet | 1% |
| 3 | agrologia.wordpress.com Fuente de Internet | 1% |
| 4 | www.sabiia.cnptia.embrapa.br Fuente de Internet | 1% |
| 5 | en.calameo.com Fuente de Internet | <1% |
| 6 | bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet | <1% |
| 7 | www.redalyc.org Fuente de Internet | <1% |

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Salomón Barrezueta Unda, con C.C. 0703397810 declaró que el trabajo de *Enmiendas edáficas de biocarbones y SiO₂ en plantas de banano con manejo de agricultura orgánica*, en opción al título de Magíster en *Agronomía mención Producción Vegetal* es original y auténtico; cuyo contenido: conceptos, definiciones, datos empíricos, criterios, comentarios y resultados son de mi exclusiva responsabilidad.

Ing. Agr. Salomón Barrezueta Unda, PhD.

CI. 0703397810

Machala, 17 de Octubre de 2022

CESIÓN DE DERECHO DE AUTORÍA

Yo, Darwin Rocafuerte Vélez con cedula de identidad 0923775969, autor del trabajo de titulación , *Enmiendas edáficas de biocarbones y SiO2 en plantas de banano con manejo de agricultura orgánica*, en opción al título de Magíster en *Agronomía Mención Producción Vegetal* , declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia *Creative Commons Attribution-NoCommercial* – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
 - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndole como Autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.

Darwin Alfredo Rocafuerte Vélez
0923775969

Machala, 17 de Octubre 2022

CERTIFICACIÓN DE PUBLICACIÓN



A quien pueda interesar:

El Consejo Editorial de la "Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas" (ISSN on line: 2631-2662 / ISSN impreso: 2661-6521), certifica: que el artículo: **Enmiendas edáficas de biocarbones y SiO₂ en plantas de banano con manejo de agricultura orgánica**; de los autores: Darwin Alfredo Rocafuerte Vélez, Salomón Barrezueta-Unda y Edison Jaramillo Aguilar. Se encuentra listo para publicar en el volumen 5, número 3 (septiembre-diciembre) de 2022. La revista es publicada por la Universidad Metropolitana de Ecuador en la dirección electrónica: <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/index> bajo la modalidad de revisión abierta por pares y se encuentra indexada en catálogo Latindex 2.0, DOAJ y REDIB.4

Dado en Quito a los 8 días del mes de julio de 2022

Ing. Alejandro R Socorro Castro,
PhD.
Director
CE: arsocorro@umet.edu.ec

Lic. Jorge Luis León González, PhD.
Editor
CE: jleon@umet.edu.ec



CRAI / Sede Quito, La Coruña N26-95 y San Ignacio Telf. (02) 2221572
<https://www.umet.edu.ec/crai/>

Ing. Darwin Alfredo Rocafuerte Vélez

Autor

Salomón Barrezueta Unda, PhD.

tutor

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón (BC) obtenido a partir de cáscara de mazorca de cacao (BCC) y tallo de banano (BCB) en combinación con varios abonos orgánicos en el desarrollo de plantas sucesión. Para determinar los efectos se estableció un diseño completamente al azar, conformado por los tratamientos T1 (15 g de BCC), T2 (30 g de BCC), T3 (30 g de BCB), T4 (30 g de BCB) en mezcla con 100 g de SiO₂ y 500 ml de biol. Los tratamientos T5 y T6 se conformaron por 60 g BCC y 60 g BCB + 50 ml de Trichoderma spp., y 50 ml de biol (T5) y el tratamiento T7 conformó por 100 g de SiO₂. En todos los tratamientos con BC se logró el incremento del pH del suelo pero solo en T1 se alcanzó un valor >pH 6. La altura de las plantas y el grosor del pseudotallo al final del experimento fueron muy homogéneos en los tratamientos con biocarbón y superiores a los obtenidos en el tratamiento control. El efecto de los biocarbones en el número de hojas al final del experimento varió de 9 a 11 hojas, resultado favorable para obtener un racimo óptimo para la exportación.

Palabras Clave: enmienda orgánica, agricultura orgánica, carbón vegetal, banano

Ing. Darwin Alfredo Rocafuerte Vélez

Autor

Salomón Barrezueta Unda, PhD.

tutor

ABSTRACT

The aim of the research was to evaluate the effect of different doses of biochar (BC) obtained from cocoa pod husk (BCC) and banana stalk (BCB) in association with several organic manures on growth of succession plants. To determine the effects, it was established a completely randomized design, composed of treatments T1 (15 g of BCC), T2 (30 g of BCC), T3 (30 g of BCB), T4 (30 g of BCB) in mixture with 100 g of SiO₂ and 500 ml of biol. Treatments T5 and T6 consisted of 60 g BCC and 60 g BCB + 50 ml of Trichoderma spp. and 50 ml of biol (T5) and treatment T7 consisted of 100 g of SiO₂. In all treatments with BC the increase of soil pH was achieved but only in T1 a value >pH 6 was reached. Plant height and pseudostem thickness at the end of the experiment were very homogeneous in the biochar treatments and higher than those obtained in the control treatment. The effect of biochar on the number of leaves at the end of the experiment ranged from 9 to 11 leaves, a favorable result for obtaining an optimal bunch for export.

keywords: organic amendment, organic agriculture, biochar, banana.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO | 18 |
| 1.1 Manejos de los suelos en plantaciones de banano | 18 |
| 1.1.1 Importancia del banano en la economía | 19 |
| 1.2 Alternativas para enmendar suelos en agricultura orgánica | 19 |
| 1.2.1 Biocarbon | 20 |
| 1.2.2 Antecedentes del uso del biocarbón en la agricultura | 21 |
| CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS | 22 |
| 2.1. Ubicación del estudio | 22 |
| 2.2 Materiales | 22 |
| 2.2. Diseño experimental | 25 |
| 2.2.1 Aplicación de tratamientos | 26 |
| 2.2.2 Variables estudiadas | 27 |
| CAPÍTULO 3: RESULTADOS | 29 |
| CONCLUSIONES | 36 |
| RECOMENDACIONES | 37 |
| BIBLIOGRAFÍA | 38 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Construcción de reactor pirolítico: A) vista frontal del reactor; B) interior del reactor; C) Termómetro acoplado al reactor | 25 |
| Figura 2. Producción de biocarbón a partir de biomasa vegetal | 26 |
| Figura 4. Promedios de pH por tratamiento del primer registró (barra azul) y el cuarto registro (barra roja) | 32 |
| Figura 3. Aplicación de las dosis en las parcelas: A) Plan de sucesión; B) aplicación en media luna frente a la planta | 29 |
| Figura 5. Comparación de la compactación del suelo después de aplicados los tratamientos | 32 |
| Figura 6. Test de tukey para el número de hojas | 36 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Representación del desarrollo fenológico por fase de una planta | 20 |
| Tabla 2.Registro de variables meteorológicas tomadas en la finca bananera | 23 |
| Tabla 3. Calculo de dosis (g) de biochar de cacao por planta | 26 |
| Tabla 4. Tratamientos y dosis aplicadas | 27 |
| Tabla 5. Características de las variables evaluadas | 30 |
| Tabla 6. Valores de pH y conductividad eléctrica | 31 |
| Tabla 7. Análisis de varianza para altura de planta por tratamientos | 33 |
| Tabla 8. Análisis de varianza para diámetro de pseudotallo por tratamientos | 34 |

GLOSARIO

Biocarbon: El biocarbón es el producto sólido que se obtiene tras calentar biomasa bajo un aporte de oxígeno limitado, un proceso conocido como pirólisis.

Enmienda edáfica: La enmienda o acondicionamiento es el aporte de un producto fertilizante o de materiales destinados a mejorar la calidad de los suelos (en términos de estructura y composición, ajustando sus nutrientes, su pH ya sea para su acidez o basicidad).

Fertilizante químico: cualquier tipo de sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos.

Pseudotallo: El tallo verdadero del banano se encuentra bajo tierra. Comúnmente se conoce como cormo, pero el término botánico correcto es rizoma. El punto de crecimiento del rizoma, el meristemo apical, es una cúpula aplanada desde la cual se forman las hojas y, eventualmente, la inflorescencia.

Musáceas: Son una familia de plantas monocotiledóneas semiperennes conocidas por sus frutos (bananas).

INTRODUCCIÓN

A nivel global el suelo es afectado por la agricultura de manera muy particular; tanto, en el control de las plagas y en las aplicaciones de fertilizantes, ocasionando: erosión, acidificación, contaminación por metales pesados, compactación, salinización, pérdida de materia orgánica, entre otros. Dentro de las estrategias para la recuperación edáfica están el cambio del manejo agronómico de la finca, de un modelo convencional a uno de agricultura orgánica (Puentes-Escobar, 2021). Por otra parte, durante la transición del modelo convencional al orgánico, el suelo puede estar tan degradado que aplicar los abonos sean ineficaces, a pesar de utilizar la dosis recomendada (Ferry et al., 2022). Esto se explica, porque sólo se satura el suelo, en algunos casos porque el pH puede ser ácido o extremadamente alcalino, que limita la disponibilidad de los elementos esenciales para las plantas (Ferry et al., 2022). Por tanto es necesario aplicar enmiendas al suelo para lograr un manejo sustentable de este recurso natural (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022).

Entre las propuestas de manejo sustentable del suelo, se encuentra la incorporación de residuos vegetales, incluyendo composta, estiércol de animales, residuos de cosechas, pajas, cascarillas de algunas gramíneas como el arroz o el trigo (Pérez-Cabrera et al., 2022). Pero su descomposición es lenta y su composición es en algunos casos altamente ácida, así como también, pueden ingresar plagas y patógenos con estos abonos, siendo recomendable el uso del vermicomposta o del biocarbón (Tian et al., 2021). En este contexto el biocarbón se presenta como una alternativa viable para enmendar los suelos degradados en especial con pH ácido (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022).

El biocarbón es un material recalcitrante y rico en carbono que se obtiene al exponer la biomasa a temperaturas superiores a 300 °C, en un entorno con poco o ningún oxígeno; es decir, mediante el proceso de pirólisis (Jindo et al., 2020; Meyer et al., 2018). Las propiedades del biocarbón están dadas por una baja densidad aparente, una alta porosidad, una elevada superficie específica, una alta capacidad de intercambio catiónico, pero también es un abono altamente alcalino (Meyer et al., 2018). Pero las

propiedades del biocarbón dependen del contenido y la naturaleza química de los componentes orgánicos e inorgánicos en su matriz (Yong et al., 2018). Por ejemplo, el biocarbón puede tener en las cenizas minerales como: el silicio, el aluminio, el calcio, el magnesio, el fósforo, el sodio y el potasio (Jindo et al., 2020), pero también puede estar ausente algunos elementos mencionados.

En los biocarbones se pueden encontrar los grupos funcionales que incluyen hidroxilo, carbonilo, carboxilo, éter, éster, sulfónico, alifático, fenólico y aromático. Pero los grupos enriquecidos con carbono como carbonilo y carboxilo tiene una mayor capacidad de intercambio catiónico, factor que permite un alta disponibilidad de nutrientes para las plantas; así como también, inmovilizar metales pesados como el cadmio o el plomo (Jindo et al., 2020).

La aplicación de los fertilizantes o de abonos orgánicos en el banano es directamente al suelo; teniendo como desventaja, la pérdida de nutrientes y minerales por lixiviación y por la volatilización (Azüero-Gaona et al., 2020). Esto ocasiona en las plantaciones de banano convencionales u orgánicas que no cubren las demandas nutricionales a la cosecha (Villaseñor, Prado, et al., 2020). Es por eso que cada planta de sucesión (hijo axilares ubicados en el cormo de la planta) se desarrolla con problemas que afectan el vigor de la siguiente generación como: retardo en el crecimiento y grosor del pseudotallo y alta incidencia del patógeno *Mycosphaerella fijiensis* (Sigatoka Negra) en el área foliares (Quevedo-Guerrero et al., 2019).

Pero a largo plazo, es de interés conocer las consecuencias de la aplicación continua de biocarbón para la salud y la seguridad de los seres humanos, especialmente en relación con los contaminantes potenciales como lo hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, los metales pesados, los compuestos clorinados, etc., que podrían estar presentes en algunos tipos de biocarbones. Es por ello que antes de recomendar la aplicación del biocarbón al suelo, es necesario someter a prueba su tecnología de producción y uso.

En este contexto, el objetivo principal fue evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón (BC) obtenido a partir de cáscara de mazorca de cacao (CBC) y tallo de plátano (BBC) en combinación con varios abonos orgánicos en el desarrollo de plantas

sucesión del *Musa AAA*, en un suelo ácidos del cantón Arenillas (provincia de El Oro; Ecuador).

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Manejos de los suelos en plantaciones de banano

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo desempeñan un papel importante en los procesos y las condiciones de crecimiento de las plantas, constituyéndose en el soporte fundamental para la producción agrícola (Ferry et al., 2022). Pero el suelo es probablemente uno de los recursos naturales más vulnerables a los efectos antropogénicos de la agricultura (Pradhan et al., 2020). Entre los efectos significativos se presenta la pérdida de fertilidad del suelo, limitante que se refleja en el bajo rendimiento de la producción agrícola, en especial en plantas de alta demanda nutricional (Abagale et al., 2019).

Los problemas de la gradación de los suelos cultivados de banano (*Musa AAA*), ha tomado mucha importancia en especial en la conversión de banano convencional a una producción de banano orgánico. Si bien una gran parte del área bananera ecuatoriana ha sido sembrada sin base en estudios previos del terreno, las plantaciones se encuentran sobre suelos aptos para la agricultura como los de textura francoarenosa, francoarcillosa, francoarcillo limosa y francolimosa que se caracterizan por ser permeables, condición fundamental para una buena producción de banano (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022).

El banano una planta herbácea climatérica que se cosecha por una sola ocasión y, por tanto, demanda de una gran cantidad de nutrientes por hectárea, que se refleja en la extracción en la fruta de 400, 125 y 15 kg/ha/año de K, N y P respectivamente (Villaseñor, Noblecilla-Romero, et al., 2020). Sin embargo, para recuperar estos nutrientes, es necesario tener en cuenta las etapas morfológicas de la planta (Tabla 1), es decir: la etapa de infancia, donde aparecen los hijuelos en los costados de la planta madre; el estado de plántula, calculado a partir de la hoja F10 (primera hoja funcional), continúa hasta llegar a la hoja Fm (inicio de la autonomía de la planta). Finalmente, la

fase reproductiva comienza con la brotación de la flora y posterior llenado del fruto, el cual se cosecha después de 11 a 15 semanas (Segura et al., 2015).

Tabla 1: Representación del desarrollo fenológico por fase de una planta

| Fase | Fase Infantil | Fase Juvenil | | Fase Reproductiva | | |
|-------------------------------|---------------|--------------|-----|-------------------|---------|----------|
| | | F10 | Fm | parición | llenado | cosecha |
| Madre | -- | F10 | Fm | parición | llenado | cosecha |
| días acumuladas | 50-100 | 150 | 200 | 300 | 350 | 400 |
| Promedio fase (días) | 104 | 91 | 116 | 132 | 77 | 98 |
| Promedio altura planta (cm) | 135,5 | 237,12 | 250 | 300 | --- | --- |
| Retorno de la planta sucesión | -- | -- | y | F10 | Fm | parición |
| Promedio fase (días) | -- | -- | 104 | 91 Días | 116 | 132 |

Fuente: (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022)

1.1.1 Importancia del banano en la economía

El banano (*Musa spp.*), se cultiva en más de 135 países de las regiones tropicales y subtropicales y es uno de los cultivos más importantes del mundo (Magdama et al., 2020). El comercio de banano contribuye en gran medida a las economías nacionales de los principales países exportadores, como Ecuador, donde esta musácea representa el segundo mayor producto de exportación después del petróleo (Magdama et al., 2020). En Ecuador, la explotación del banano en 2018 produjo 6,2 millones de toneladas (t) en 158057 ha de cultivadas, con una productividad media de 39 t ha⁻¹ (Villaseñor, Prado, et al., 2020). Por otra parte, en América Latina es el principal exportador de banano orgánico aunque aún sólo representa el 3 % del banano convencional exportado (Vásquez-Castillo et al., 2019). La superficie de banano orgánico en Ecuador es de 19000 ha, con una producción de 360 000 t año⁻¹. El principal destino de banano orgánico es Estados Unidos, Europa y Nueva Zelanda (Vásquez-Castillo et al., 2019).

1.2 Alternativas para enmendar suelos en agricultura orgánica

El uso de estos residuos orgánicos está cobrando cada día más atención como un medio eficaz para el correcto reciclaje de los nutrientes, ayudando a promover el crecimiento de las plantas y devolver al suelo muchos de los elementos extraídos durante la

producción (Ramos Agüero & Terry Alfonso, 2014). En este contexto, una alternativa a la fertilización química es el uso de abonos orgánicos como es: el compost, los biofermentos, bokashi, vermicompost, etc. Estos abonos aportan en especial N en forma orgánica, carbono orgánico y en menor proporción micronutrientes como el Ca, Mg, zn, etc (Novotny et al., 2015). Pero el ciclo de nutrientes entre planta, suelo y los abonos orgánicos es limitado en especial en N y Carbono orgánico, después de un corto plazo de ser aplicado. Otra alternativa es el uso de los biocarbonos o también llamados carbón vegetal o biochar (nombre en idioma inglés).

Los biocarbonos obtenidos a partir de los restos de la cosecha del banano y del cacao es una alternativa no sólo deben aplicarse como enmienda para suelos degradados, también para problemas de compactación, bajo nivel de materia orgánica y para potenciar el desarrollo de las plantas de banano (Sial et al., 2019). En este aspecto la sustentabilidad de la producción a largo plazo puede manejarse con enmiendas a base de biocarbón en combinación con otros productos biológicos como el hongo *Trichoderma spp.*, y biofermentos. Esta estrategia ha sido probada con éxito en otras plantaciones de banano en la provincia de El Oro (Azüero-Gaona et al., 2020; Barrezüeta-Unda & Gorotiza, 2022; Tenesaca-Martínez et al., 2019), pero es necesario saber su efecto en una plantación orgánica en el desarrollo de las plantas de sucesión.

1.2.1 Biocarbon

El biocarbón es el producto sólido que se obtiene de la pirólisis, proceso térmico que se produce en ausencia de oxígeno (Fetjah et al., 2021). La pirólisis también produce biocombustibles gaseosos y líquidos. Existe un interés creciente en todo el mundo por los productos que se obtiene de la pirólisis en especial por las siguientes razones: (a) la pirólisis puede ser una fuente de biocombustibles renovables; (b) el secuestro a largo plazo del dióxido de carbono que se originó en la atmósfera puede resultar de la adición de biocarbón al suelo, y (c) la enmienda del suelo con biocarbón contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Elad et al., 2011).

Los efectos positivos del biocarbón en la productividad de los cultivos en condiciones de agricultura extensiva se atribuyen con frecuencia a los efectos directos de los nutrientes suministrados por el biocarbón (Fetjah et al., 2021). Pero también se pueden

cuantificar otros efectos indirectos, como el aumento de la retención de agua y nutrientes, la mejora del pH del suelo, el aumento de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, los efectos en las transformaciones y el recambio de P y S, la neutralización de los compuestos fitotóxicos del suelo (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022; Fetjah et al., 2021).

1.2.2 Antecedentes del uso del biocarbón en la agricultura

La evidencia más temprana del uso intencional de biocarbón sugiere que se utilizó como combustible hace al menos 5.500 años en el sur de Europa y Oriente Medio. Durante la Edad del Bronce Temprano en Inglaterra, hace unos 5.500 años, A.C (Elad et al., 2011). Sin embargo, el combustible no era el único uso antiguo del biocarbón; existe evidencia considerable de que los nativos precolombinos de la cuenca del Amazonas usaban carbón vegetal como aditivo del suelo con estiércol, huesos y plantas en macetas, transformando el suelo improductivo en suelo fértil y rico (Novotny et al., 2015).

Los usos del biocarbón son múltiples y la aplicación de éste al suelo ya constituye una práctica común (Rebolledo et al., 2016).. Sin embargo, en otras partes del mundo ha sido cuestionado en especial por Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, que se pueden trasladar del suelo al fruto.

Para aplicar el biocarbón al suelo se deben considerar una cuatro factores : (a) los relacionados con el suelo (textura y pH); (b) prácticas de cultivo (manejo orgánico o convencional); (c) condiciones del entorno (clima, humedad, etc.) y (d) la forma de aplicación. Puede aplicarse en mezcla con otros productos orgánicos como el humus de lombrices, bioles, vermicompost, etc (Rebolledo et al., 2016). En ocasiones se requiere humedecerlo para evitar pérdidas en el aire y que sea aspirado por quien lo aplica; aplicaciones que pueden ser bandas frente a la planta de manera manual o mecánica (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022).

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del estudio

El experimento se realizó entre la latitud 3°33 ' Sur y la longitud 80°14' Oeste, a 5 msnm, en una plantación bananera ubicada en el cantón Arenillas, provincia de El Oro, en el suroccidente de Ecuador. El clima, se clasifica como megatérmico seco a semihúmedo. Presenta una estación seca (mayo a diciembre) y una estación húmeda, ambas bien definidas (Villaseñor et al., 2016). La mayor precipitación media mensual se registra entre los meses de enero a abril, y el promedio de temperaturas anuales en la estación húmeda bordean los 25 a 30 °C.

Los suelos en esta zona pertenecen a una morfología de llanura costera, sin registros de formaciones petrográficas de sedimentos (Villaseñor et al., 2016). La textura predominante es franco arenoso a franco arcillo en los primeros 15 cm . Los suelos en la zona son de origen aluvial y se categorizan en el orden entisol y alfisol (Villaseñor et al., 2015).

En el sitio específico donde se desarrolló el trabajo los registros de temperatura, humedad y precipitaciones se obtuvieron de la estación meteorológica de la finca. La temperatura media fue de 25,5 °C, la humedad relativa fue de 87,03% y la precipitación fluctúa entre 14,37 mm a 180,68 mm (Tabla 2).

Tabla 2. Registro de variables meteorológicas tomadas en la finca bananera

| Año/mes | Temperatura (°C) | | | Humedad Relativa (%) | Precipitación (mm) |
|------------------|------------------|--------|--------|----------------------|--------------------|
| | promedio | mínimo | máximo | | |
| 2021/diciembre | 24,54 | 20,60 | 31,90 | 88,24 | 14,37 |
| 2022/enero | 25,33 | 20,80 | 32,00 | 86,69 | 100,75 |
| 2022/febrero | 25,75 | 21,50 | 33,80 | 85,84 | 54,23 |
| 2022/marzo | 26,36 | 21,70 | 33,30 | 87,37 | 180,68 |
| Promedio general | 25,50 | 21,15 | 32,75 | 87,03 | 87,5075 |

2.2 Materiales

Obtención de los biocarbones del biol

Para obtener el biocarbón fue necesario construir un reactor pirolítico, que fue diseñado según las medidas especificadas por (Fuentes Hernández & Recio Recio, 2005) y (Marín-Armijos et al., 2018). La estructura fue de metal conformado por un cilindro de

fondo cónico y tapa elíptica, altura total 0,90 m y diámetro 0,57 m (Figura 1A). Luego en el centro del cilindro se acopla un tubo metálico rectangular de 1,20 m de largo por 10 cm de ancho, estructura que sobrepasa la tapa del cilindro y cumple la función de transmitir el calor en el interior del cilindro (Figura 1B). Con esta división en el cilindro se generan dos zonas de reacción. La primera es la zona de combustión que inicia con la conducción del calor por el tubo metálico. La segunda zona es la del interior del cilindro, espacio donde se produce la pirólisis. También se acopló un termómetro para controlar la temperatura (Figura 1C).



Figura 1. Construcción de reactor pirolítico: A) vista frontal del reactor; B) interior del reactor; C) Termómetro acoplado al reactor

Previo a la construcción del reactor pirolítico, se recolectó cortó trozos de raquis de banano (Figura 2A) y trozos de la cáscara (mesocarpio) de la mazorca del cacao (Figura 2B), restos proveniente de las plantaciones próximas al lugar del experimento. Luego con el reactor listo, se procedió a introducir la biomasa seca hasta alcanzar 2 tercios del tanque (Figura 2C), debido que la intención es generar en la zona de pirólisis es una presión de gases que ocasionan el consumo del oxígeno (Fuentes Hernández & Recio Recio, 2005). Luego se trituró, tamiza y se dejó en fermentación por 1 mes en sacos (Figura 2D), para después verificar su pH y humedad (Figura 2E). Este procedimiento fue realizado por separado tanto para la mazorca del cacao como la del raquis del banano.

2A)



2B)



2C)



2D)



2E)



Figura 2. Producción de biocarbón a partir de biomasa vegetal: A) biomasa seca de banano; B) biomasa seca de cacao; C) vista del interior del reactor

Para obtener el biol se preparó en un tanque de 200 l al que se agregó la cuarta parte de agua para mezclar con 4 l de melaza. Asimismo, se añadieron 4 l de melaza, 1 kg de levadura de trigo y 1 kg de alfalfa, se mezcló bien para luego aforar el tanque con agua limpia hasta 15 cm abajo del borde (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022). Al final, se incorporaron 100 g de *Tricoder* (*Trichoderma spp.*) producto adquirido a una casa comercial.

2.2. Diseño experimental

Tipo de investigación fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo y de tipo comparativa. Bajo estas directrices primero se medirán los parámetros de pH, conductividad eléctrica (CE) y humedad relativa de los biocarbones solo y luego en mezclas con el SiO₂. Los parámetros de pH y CE se midieron en un potenciómetro portátil en relación con agua destilada de 1:2,5. La humedad relativa se determinó introduciendo un hidrómetro de campo en vasos de 500 g. Estas determinaciones se realizaron por triplicado. También se midió el pH del suelo en el inicio y fin del ensayo y la compactación determinada mediante un penetrómetro digital en campo a los primero 23 cm desde la superficie frente a cada planta de sucesión. Esta última determinación física se realizó al final del ensayo.

Cálculo de las dosis de Biocarbón

Al no encontrar referencia de dosis óptima de biocarbón obtenido de mazorca de cacao para ser utilizada en suelos franco arenosos para banano se tomó como referencia la ecuación (1) recomendado por Pérez Salas et al., (2013). Para determinar la cantidad de Biocarbón por planta se calculó el peso del suelo de una hectárea a una profundidad de 0,20 m y una densidad aparente de 1,0 g/cm³ (1000 kg/m³).

$$\text{Gramos de biocarbón/planta} = [DB/Ps] * 1600 \quad (1)$$

Dónde: DB, dosis de biocarbón en kg; Ps es el masa del suelo en kg a 20 cm y Da 1, 0 g cm⁻³, 1 600 número de plantas por hectárea.

Para el cálculo se realizó el cálculo con tres dosis de 12000 kg/ha⁻¹; 37000 kg/ha y 62000/ha⁻¹ de biocarbón de cacao, para una población de 1600 plantas/ha⁻¹ (Tabla 3).

Tabla 3. Calculo de dosis (g) de biochar de cacao por planta

| Dosis (kg)/ha | Calculo dosis (g)/planta | Resultado (g) |
|---------------|--------------------------|---------------|
| 30000 | [(30000/2000000)] *1600 | 15 |
| 36000 | [(36000/2000000)] *1600 | 30 |
| 72000 | [(72000/2000000)] *1600 | 60 |

Para determinar los efectos de la aplicación, se estableció un diseño experimental completamente al azar, conformado por 7 tratamientos establecidos en parcelas de 100 x 100 m (Tabla 2). En cada tratamiento se identificó 15 plantas para la toma de datos. Los tratamientos T1 y T2 se conformaron de 15 y 30 g biochar de cacao (BCC), respectivamente en mezcla con 100 g de Dióxido de silicio (SiO₂) más 500 ml de biol. Los tratamientos T3 y T4 se aplicaron 15 y 30 g biochar de banano (BCB), respectivamente en mezcla con 100 g de SiO más 500 ml de biol. También se aplicaron dos tratamientos en dosis 60 g BCB + 100 de SiO₂ + 50 ml de *Trichoderma spp.* y 50 ml de biol (T5) y 60 g de BCB + *Trichoderma spp.* y 50 ml de biol (T6). El tratamiento siete (T7) fue el control y se aplicó 100 g de SiO₂.

Tabla 4. Tratamientos y dosis aplicadas

| Tratamiento | Dosis/plantas |
|-------------|---|
| T1 | 15 g biocarbon de cacao + 100 g de SiO ₂ + 50 ml de biol |
| T2 | 30 g de biocarbón de cacao + 100 g de SiO ₂ + 50 ml de biol |
| T3 | 15 g de biocarbón de banano + 100 g de SiO ₂ + 50 ml de biol |
| T4 | 30 g de biocarbón de banano + 100 g de SiO ₂ + 50 ml de biol |
| T5 | 60 g de biocarbón de cacao + 50 ml de biol + <i>Trichoderma spp.</i> |
| T6 | 60 g de biocarbón de banano + 50 ml de biol + <i>Trichoderma spp.</i> |
| T7 | 100 g de SiO ₂ |

2.2.1 Aplicación de tratamientos

El proceso de aplicar las dosis a las plantas de sucesión (Figura 3A), fueron similar a las descritas por Barrezueta-Unda y Gorotiza (2022), y consiste en aplicar en media luna al suelo el biocarbón delante de la planta de sucesión (Figura 3B). A los 8 días se aplicó el biol en media luna con ayuda de una bomba manual de 20 litros. Se realizaron dos aplicaciones con un intervalo de 6 semanas. El registro de datos se realizó cada 4 semanas después de la primera aplicación.

3A)

3B)



Figura 3. Aplicación de las dosis en las parcelas: A) Plan de sucesión; B) aplicación en media luna frente a la planta

2.2.2 Variables estudiadas

Durante la investigación se tomaron las variables: La altura del pseudotallo (cm): se calculó con una cinta graduada desde el nivel del suelo hasta el inicio de la emergencia de las hojas. Diámetro del pseudotallo (cm): con una cinta graduada se medía la circunferencia del pseudotallo ajustada en la mitad del pseudotallo. Número de hojas: mediante un conteo directo se registró las emisiones de hojas, se excluyen las hojas no funcionales y la hoja no abiertas en un 100%. Las características de cada variables se detallan a continuación (Tabla 5).

Tabla 5. Características de las variables evaluadas

| Características | VARIABLES | Tipo de variable |
|-----------------|-------------------------------|------------------|
| Morfológica | Altura del pseudotallo (cm) | Cuantitativa |
| | Diámetro del pseudotallo (cm) | Cuantitativa |
| | Número de hojas | Cuantitativa |

2.4. Análisis estadístico

Los datos fueron ingresados en el programa Excel. Las variables fueron tratadas con la media y la desviación estándar. Para establecer diferencia entre los tratamientos, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) con nivel de significancia de 5%. También se realizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$), en las variables que mostraron diferencias entre las medias. Todos los datos fueron analizados con el programa SPSS versión 23 (SPSS, 2013).

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

Los biocarbones puro y en mezclas mostraron diferencias numéricas en la medición del pH y de la CE (Tabla 6). El pH obtenido de BCC y BCB puros fueron extremadamente alcalinos (pH 10,43 y 9,95, respectivamente). La mezcla de tratamientos con BC con SiO₂ no bajó de manera considerable aunque el pH SiO₂ fue de 7 (T7). Pero en la mezcla con *Trichoderma spp.*, y BCB el valor disminuyó a fuertemente alcalino (pH 8,42). Otra propiedad química analizada fue la CE, en el caso de BCC y BCB fue de 0,16 a 0,88 dS/m, respectivamente, mientras que la mezclas de los biocarbones con SiO₂ decrecieron entre 0,13 a 0,67 dS/m. Estos valores están clasificados como no salinos y adecuados para su aplicación en el suelo. En esta investigación los valores de pH y CE fueron diferentes a los obtenidos por (Barrezueta-Unda & Sisalima-Morales, 2021; Cuenca-Rivera et al., 2019). Esto se explica por el nivel de oxígeno, la temperatura y tiempo en que se realiza la pirólisis, cuando la temperatura es mayor a 300 C se liberan iones alcalinos, y se obtiene un biocarbón que aunque se mezcle con SiO₂ el valor será de extremadamente alcalino (Cui et al., 2016).

Tabla 6. Valores de pH y conductividad eléctrica

| Parámetros | BCC | BCB | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 |
|-----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| pH | 10,43 | 9,95 | 9,6 | 9,95 | 9,83 | 9,94 | 10,08 | 8,42 | 7,00 |
| Conductiva eléctrica (dS/m) | 0,16 | 0,88 | 0,23 | 0,50 | 0,14 | 0,24 | 0,13 | 0,67 | 0,01 |
| Humedad (%) | 10,3 | 11,6 | 0 | 2 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | 0 | 0 |

Los valores de pH tomado al momento de aplicar las dosis por cada tratamiento fueron muy homogéneos variando entre un pH 4,9 a 5,1; estos valores se categorizan como los de un suelo fuertemente ácido. En el último registro luego de 12 semanas los valores se incrementaron significativamente. Solo en T1 se obtuvo un pH 6,10, categorizado como neutro. En los tratamientos T4 y T5, el pH promedio fue de 5,7 y en T2, T3 y T6 el registro fue de 5,60, valores que corresponde a un suelo moderadamente ácido. El menor incremento fue de 5,10 que corresponde a T7. Valores que fueron similares a los obtenidos por (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022), aunque el manejo del suelo anterior como es el ingreso de altas concentraciones de Materia orgánica puede incidir en suelo ácida y su cambio se debe medir en un plazo más largo (Khatua et al., 2018).

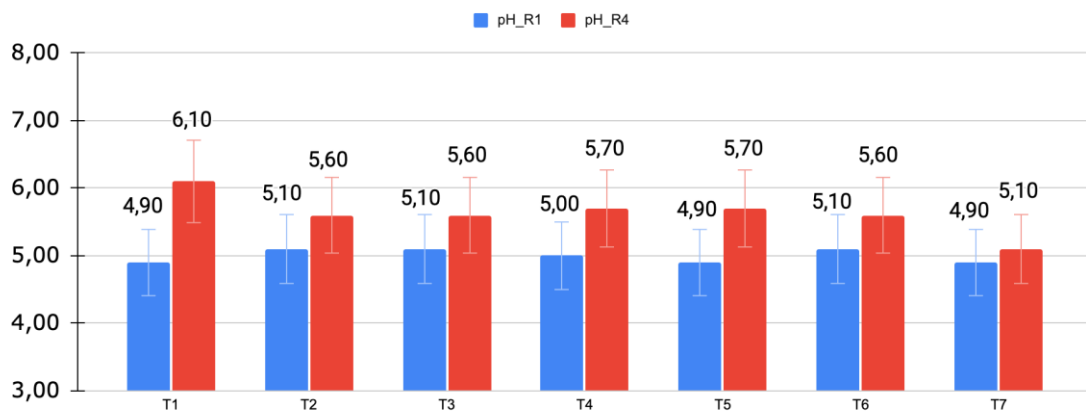


Figura 4. Promedios de pH por tratamiento del primer registro (barra azul) y el cuarto registro (barra roja)

La Figura 5, muestra el grado de compactación del suelo después de 30 días del último registro. Los valores más altos fueron de 200 g/cm^3 y 195 g/cm^3 que corresponden a T1 y T6, respectivamente. Por otra parte, el valor más bajo fue de 125 g/cm^3 registrado en T7. En los demás tratamientos varió de 150 a 165 g/cm^3 . (Bustamante León et al., 2018) explica que la presencia de abonos orgánicos causa un efecto de resistencia a la compactación, por la razón que almacena mayor contenido de humedad que un suelo sin alto contenido de materia orgánica.

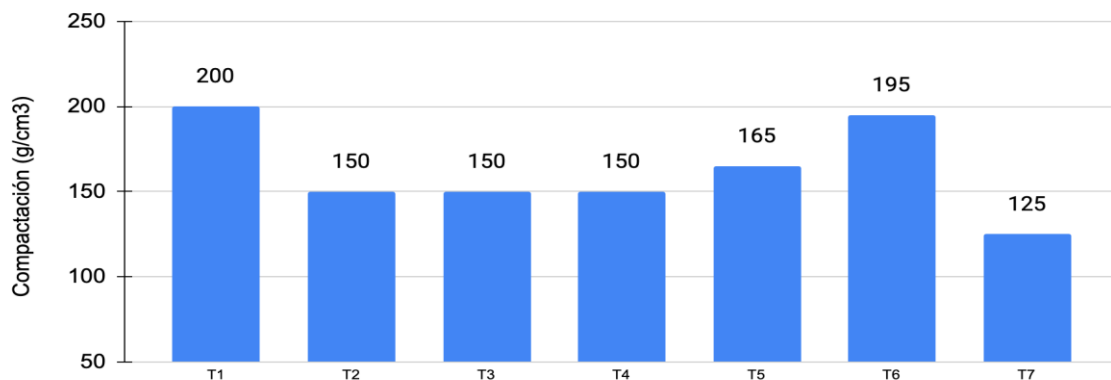


Figura 5. Comparación de la compactación del suelo después de aplicados los tratamientos.

El análisis de varianza de altura total indica diferencias significativas ($p \leq 0,05$) que en los tres primeros registros (Tabla 7). Los valores en el primer registro (R1) variaron de 0,85 cm a 1,64 cm y el promedio más alto correspondió a T3 con 1,32 cm, seguido de T5, T6, T4, T2, T1 y T7, todos sobrepasando el metro de altura. En el segundo registro (R2), la variación fue en el orden de 1,05 cm (T7) a 2,06 cm (T2), mientras que los promedios en los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 la altura fue entre 1,50 a 1,59 cm, y el de T7 1,35 cm. En el tercer registro (R3), realizado en la semana ocho y 15 días después de la segunda aplicación, los valores promedios en T2, T3 y T5 sobrepasaron los 2 m de altura, mientras T7 registró 1,65 cm. En el cuarto registro (R4), los valores tuvieron un rango entre 1,50 cm (T7) a 3,76 cm (T2), los promedios más altos fueron para los tratamientos T2 (2,55 cm), T3 (2,57 cm) y T5 (2,55 cm) y T7 solo alcanzó los 2,17 cm. Estos resultados están por debajo de los ensayos realizados por (Quevedo-Guerrero et al., 2019) y del trabajo de (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022), el primero realizado en una plantación convencional y el segundo en una en transición. (Tenesaca-Martínez et al., 2019), en tratamientos de carbono en mezcla con otros fertilizantes obtuvo resultados inferiores a los de la investigación, pero en clones de William. Los valores del pH (extremadamente ácido a moderadamente ácido) en el suelo es un factor clave para la disponibilidad de nutrientes en el suelo, es especial del nitrógeno y del fósforo que tienen relación con el crecimiento de las plantas (Panigrahi et al., 2021; Villaseñor, Prado, et al., 2020). Por otra parte, la diferencia entre los tratamientos con otras investigaciones pueden estar relacionadas al tamaño inicial de la sucesión que fueron tomadas para el ensayo.

Tabla 7. Análisis de varianza para altura de planta por tratamientos

| Registro | Tratamiento | Media (\pm) | Mínimo | Máximo | Sig. 0,05 |
|----------|-------------|-----------------|--------|--------|-----------|
| R1 | T1 | 1,14 \pm 0,15 | 0,97 | 1,46 | 0,008 |
| | T2 | 1,14 \pm 0,20 | 0,85 | 1,50 | |
| | T3 | 1,32 \pm 0,19 | 0,95 | 1,64 | |
| | T4 | 1,15 \pm 0,16 | 0,96 | 1,48 | |
| | T5 | 1,19 \pm 0,13 | 1,01 | 1,44 | |
| | T6 | 1,18 \pm 0,18 | 0,88 | 1,46 | |
| | T7 | 1,06 \pm 0,15 | 0,90 | 1,28 | |
| R2 | T1 | 1,54 \pm 0,19 | 1,25 | 1,96 | 0,026 |
| | T2 | 1,57 \pm 0,22 | 1,25 | 2,06 | |
| | T3 | 1,59 \pm 0,21 | 1,18 | 1,86 | |
| | T4 | 1,50 \pm 0,22 | 1,15 | 1,94 | |
| | T5 | 1,58 \pm 0,18 | 1,22 | 1,98 | |
| | T6 | 1,48 \pm 0,22 | 1,20 | 1,87 | |
| | T7 | 1,35 \pm 0,19 | 1,05 | 1,80 | |
| R3 | T1 | 1,96 \pm 0,23 | 1,62 | 2,38 | 0,001 |
| | T2 | 2,08 \pm 0,33 | 1,42 | 2,90 | |
| | T3 | 2,06 \pm 0,23 | 1,60 | 2,30 | |
| | T4 | 1,92 \pm 0,32 | 1,38 | 2,54 | |
| | T5 | 2,00 \pm 0,22 | 1,52 | 2,30 | |
| | T6 | 1,90 \pm 0,27 | 1,30 | 2,22 | |
| | T7 | 1,65 \pm 0,28 | 1,25 | 2,15 | |
| R4 | T1 | 2,30 \pm 0,68 | 1,72 | 3,10 | 0,05 |
| | T2 | 2,55 \pm 0,45 | 1,76 | 3,76 | |
| | T3 | 2,57 \pm 0,31 | 1,85 | 3,00 | |
| | T4 | 2,46 \pm 0,29 | 2,04 | 2,97 | |
| | T5 | 2,55 \pm 0,30 | 1,90 | 2,88 | |
| | T6 | 2,46 \pm 0,34 | 1,72 | 3,08 | |
| | T7 | 2,16 \pm 0,34 | 1,50 | 2,84 | |

El análisis de varianza del diámetro del pseudotallo por tratamiento se muestra que en los registros R1 y R3 existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$), mientras en R2 y R4 solo se obtuvo diferencias numéricas (Tabla 8). El promedio más alto en R1 fue 0,24 m (T5) y el menor valor de 0,20 m (T7).

Tabla 8. Análisis de varianza para diámetro de pseudotallo por tratamientos

| Registro | Tratamiento | Media | Mínimo | Máximo | Sig 0,05 |
|----------|-------------|-------------|--------|--------|----------|
| R1 (m) | T1 | 0,21 ± 0,03 | 0,16 | 0,27 | 0,02 |
| | T2 | 0,21 ± 0,03 | 0,16 | 0,25 | |
| | T3 | 0,21 ± 0,03 | 0,14 | 0,26 | |
| | T4 | 0,23 ± 0,03 | 0,18 | 0,28 | |
| | T5 | 0,24 ± 0,03 | 0,19 | 0,27 | |
| | T6 | 0,22 ± 0,04 | 0,18 | 0,28 | |
| | T7 | 0,20 ± 0,04 | 0,15 | 0,32 | |
| R2 (m) | T1 | 0,25 ± 0,03 | 0,20 | 0,30 | 0,15 |
| | T2 | 0,25 ± 0,03 | 0,22 | 0,30 | |
| | T3 | 0,25 ± 0,03 | 0,20 | 0,29 | |
| | T4 | 0,26 ± 0,03 | 0,22 | 0,32 | |
| | T5 | 0,26 ± 0,03 | 0,21 | 0,32 | |
| | T6 | 0,26 ± 0,03 | 0,21 | 0,30 | |
| | T7 | 0,23 ± 0,03 | 0,19 | 0,31 | |
| R3 (m) | T1 | 0,30 ± 0,04 | 0,24 | 0,37 | 0,01 |
| | T2 | 0,32 ± 0,03 | 0,28 | 0,38 | |
| | T3 | 0,31 ± 0,03 | 0,26 | 0,36 | |
| | T4 | 0,31 ± 0,04 | 0,25 | 0,38 | |
| | T5 | 0,31 ± 0,03 | 0,26 | 0,38 | |
| | T6 | 0,31 ± 0,04 | 0,24 | 0,37 | |
| | T7 | 0,27 ± 0,03 | 0,21 | 0,32 | |
| R4 (m) | T1 | 0,38 ± 0,05 | 0,30 | 0,52 | 0,253 |
| | T2 | 0,39 ± 0,04 | 0,33 | 0,44 | |
| | T3 | 0,39 ± 0,04 | 0,29 | 0,44 | |
| | T4 | 0,38 ± 0,05 | 0,30 | 0,46 | |
| | T5 | 0,38 ± 0,04 | 0,30 | 0,46 | |

| Registro | Tratamiento | Media | Mínimo | Máximo | Sig 0,05 |
|----------|-------------|-------------|--------|--------|----------|
| | T6 | 0,38 ± 0,04 | 0,31 | 0,44 | |
| | T7 | 0,35 ± 0,05 | 0,28 | 0,46 | |

En R2, los valores fueron más ajustados con una media de 0,26 m obtenido en T4, T5 y T6, seguido de T1, T2 y T3 que registraron 0,25 m, y T7 con 0,23 m. En R3, los valores entre los tratamientos con BC se ajustaron a un rango de 0,24 m a 0,38 m, con una diferencia entre sus promedios de 0,30 m a 0,31 m, mientras que T7 el valor más alto fue de 0,32 m y su promedio de 0,27 m. En R4, el rango entre los tratamientos con BC fue de 0,29 m (T3) a 0,52 m (T1) y en el control de 0,28 m a 0,46 m. Los tratamientos T2 y T3 en R4 promediaron 0,39 m, en T1, T4, T5 y T6 el valor fue de 0,38 m y en T7 de 0,35 m. Estos valores son similares a los obtenidos por (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022) en R1, pero inferiores a los obtenidos en R4. Los investigadores concluyen que el mejor desarrollo del pseudotallo se logró con dosis de 20 y 30 g de BC más 100 g de SiO₂. En este caso los valores al final del ensayo no fueron significativos; por la razón que el manejo orgánico de la finca pudo incidir en un menor fuste en relación con fincas con manejo convencional, donde los insumos origen sintético son un factor que influye en este parámetro vegetativo.

La comparación de medias del número de hojas contabilizadas en la primera semana (barras en azul) y la última semana (barra en rojo) de registro de datos se presenta en la Figura 6. Se determinó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre el T1 con un registro de 14 hojas y los tratamientos T2, T3, T4, T6 con 12 hojas, T5 con 13 hojas y T7 con 12 hojas. En el último registro (R4), los valores disminuyeron por el motivo que son plantas que se encontraban con la emisión de sus racimos florales, también por el efecto del patógeno sigatoka negra que afecta la lámina foliar. Con este antecedente los tratamientos con un mayor número de hojas fueron: T2, T3 y T5 con 11 hojas, seguido de T1 con 10 hojas, T4 y T6 con 9 hojas y el T7 con 6 hojas. El número de hojas tanto al inicio como al final del ensayo fueron

similares a los registros de (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022). Varios investigadores afirman que al momento de la aparición las plantas deben tener un mínimo 8 hojas sanas y funcionales para asegurar un llenado y a la cosecha en una plantación orgánica (Barrezueta-Unda & Gorotiza, 2022; Quevedo-Guerrero et al., 2019).

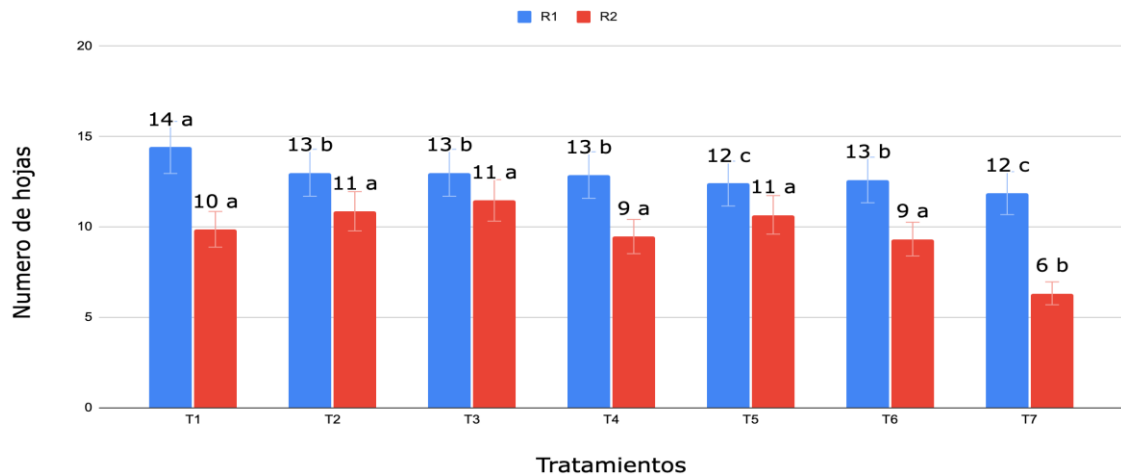


Figura 6. Test de Tukey para el número de hojas

CONCLUSIONES

1. El efecto de los biocarbones más el SiO₂ sobre el suelo fue el esperado. En todos los tratamientos con biocarbón se tuvo el incremento del pH del suelo, pero solo en T1 se alcanzó un valor mayor a pH 6, tratamiento donde se obtuvo una menor compactación del suelo.
2. La altura de las plantas y el grosor del pseudotallo al final del experimento fueron muy homogéneos en los tratamientos con biocarbón y superiores a los obtenidos en el tratamiento control.
3. El efecto de los biocarbones más el SiO₂ en el número de hojas el experimento es un resultado favorable para obtener un racimo óptimo para la exportación.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda iniciar programas de capacitación entre los agricultores para la obtención de biocarbón, de esta forma lograr una mejor gestión de los restos de orgánicos obtenidos de la cosecha del cacao, banano, maíz, etc.
2. También se recomienda continuar con el estudio pero a largo plazo para corroborar efectos negativos que puedan tener los biocarbones en el suelo y en la translocación de los hidrocarburos y metales pesados en los frutos, como lo indican otras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Abagale, S. A., Woodcock, C. M., Chamberlain, K., Osafo-Acquaah, S., van Emden, H., Birkett, M. A., Pickett, J. A., & Braimah, H. (2019). Attractiveness of host banana leaf materials to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* in Ghana for development of field management strategies. *Pest Management Science*, 75(2), 549–555.
- Azuero-Gaona, B., Quevedo-Guerrero, J., & Garcia-Batista, M. (2020). Efecto del biocarbón y microorganismos en la producción y estado fitosanitario de banano orgánico en la parroquia “La Victoria.” *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 110–120.
- Barrezueta-Unda, & Gorotiza. (2022). Efecto del biocarbón en el desarrollo de las plantas de banano (*Musa AAA*) en fincas a partir de un manejo orgánico y convencional. *Enfoque UTE*.
https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html_v13n3/art003.html
- Barrezueta-Unda, S., & Sisalima-Morales, P. (2021). Efectos de biochar en el desarrollo vegetativo de *Theobroma cacao* L. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 86–91.
- Bustamante León, M., Chabla Carrillo, J., & Barrezueta Unda, S. (2018). La densidad y humedad crítica como indicadores de la compactación de suelos cultivados con banano. *Agroecosistemas*, 6(1), 168–174.
- Cuenca-Rivera, J., Quevedo-Guerrero, J., & García-Batista, R. (2019). Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 6–11.
- Cui, X., Fang, S., Yao, Y., Li, T., Ni, Q., Yang, X., & He, Z. (2016). Potential mechanisms of cadmium removal from aqueous solution by *Canna indica* derived biochar. *The Science of the Total Environment*, 562, 517–525.
- Elad, Y., Cytryn, E., Meller Harel, Y., Lew, B., & Graber, E. R. (2011). The biochar effect: Plant resistance to biotic stresses. *Phytopathologia Mediterranea*, 50(3), 335–349.
- Ferry, Y., Herman, M., Tarigan, E. B., & Pranowo, D. (2022). Improvements of soil quality and cocoa productivity with agricultural waste biochar. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 974(1), 012045.
- Fetjah, D., Ainhout, L. F. E., Ihssane, B., Houari, A., Idardare, Z., & Bouqbis, L. (2021). Biological, Physico-Chemical and Morphological Analyses of Four Biochars Derived from Agricultural Waste. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4), 36–46.
- Fuentes Hernández, A., & Recio Recio, R. (2005). Propuesta de diseño de un horno-reactor para realizar la pirólisis de la cáscara de arroz. *Tecnología Química*, 25(2), 87–98.
- Jindo, K., Audette, Y., Higashikawa, F. S., Silva, C. A., Akashi, K., Mastrolonardo, G., Sánchez-Monedero, M. A., & Mondini, C. (2020). Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 1: A review of the biochar roles in soil N, P and K cycles. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(1),

15.

- Khatua, C., Sengupta, S., Krishna Balla, V., Kundu, B., Chakraborti, A., & Tripathi, S. (2018). Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia fetida*. *Waste Management*, *79*, 287–295.
- Magdama, F., Monserrate-Maggi, L., Serrano, L., García Onofre, J., & Jiménez-Gasco, M. D. M. (2020). Genetic Diversity of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, the *Fusarium* Wilt Pathogen of Banana, in Ecuador. *Plants*, *9*(9). <https://doi.org/10.3390/plants9091133>
- Marín-Armijos, J., Garcia-Batista, R., & Barrezueta-Unda, S. (2018). Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, *6*(3), 75–81.
- Meyer, R. S., Cullen, B. R., Whetton, P. H., Robertson, F. A., & Eckard, R. J. (2018). Potential impacts of climate change on soil organic carbon and productivity in pastures of south eastern Australia. *Agricultural Systems*, *167*(August), 34–46.
- Novotny, E. H., de Freitas Maia, C., de Melo Carvalho, M. T., & Madari, B. E. (2015). BIOCHAR: PYROGENIC CARBON FOR AGRICULTURAL USE - A CRITICAL REVIEW. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, *39*, 321–344.
- Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zobelzu, S., & Knox, J. W. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae*, *276*, 109735.
- Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejacal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Alejo-Santiago, G., Castro-Brindis, R., López-Martínez, V., & Alvarado-Camarillo, D. (2022). Biocarbón de ápices de caña de azúcar como enmienda de suelo para el cultivo de *Ocimum basilicum* var. *thyrsoflora* en invernadero. *Terra Latinoamericana*: *40*. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1077>
- Pérez Salas, R. A., Tapia Fernández, A. C., Soto, G., & Benjamin, T. (2013). Efecto del Biocarbón sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense y el desarrollo de plantas de banano (*Musa AAA*). *InterSedes*, *14*(27), 66–100.
- Pradhan, S., Abdelaal, A. H., Mroue, K., Al-Ansari, T., Mackey, H. R., & McKay, G. (2020). Biochar from vegetable wastes: agro-environmental characterization. *Biochar*, *2*(4), 439–453.
- Puentes-Escobar. (2021). Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Revista Avances*.
- Quevedo-Guerrero, J., Delgado-Pontón, A., & Tuz-Guncay, I. (2019). Evaluación de la aplicación de fertilizante al pseudotallo de plantas cosechadas de banano (*Musa x paradisiaca* L.) Y su efecto en la velocidad de crecimiento del *Revista Científica Agroecosistemas*, *7*(2), 190–197.
- Ramos Agüero, & Terry Alfonso. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*.
- Rebolledo, A. E., González, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Valtierra, E., & Etchevers, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, *34*(3), 367–382.

- Segura, R. A., Serrano, E., Pocasangre, L., Acuña, O., Bertsch, F., Stoorvogel, J. J., & Sandoval, J. A. (2015). Chemical and microbiological interactions between soils and roots in commercial banana plantations (Musa AAA, cv. Cavendish). *Scientia Horticulturae*, 197, 66–71.
- Sial, T. A., Khan, M. N., Lan, Z., Kumbhar, F., Ying, Z., Zhang, J., Sun, D., & Li, X. (2019). Contrasting effects of banana peels waste and its biochar on greenhouse gas emissions and soil biochemical properties. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 366–377.
- Tenesaca-Martínez, S., Quevedo-Guerrero, J., & Garcia-Batista, R. (2019). Determinación de la dosis óptima de biocarbón como enmienda edáfica en el cultivo de banano (musa x paradisiaca l.) clon Williams. *Revista*, 7(3), 134–141.
- Tian, G.-L., Bi, Y.-M., Jiao, X.-L., Zhang, X.-M., Li, J.-F., Niu, F.-B., & Gao, W.-W. (2021). Application of vermicompost and biochar suppresses Fusarium root rot of replanted American ginseng. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(18), 6977–6991.
- 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.
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia del El Oro. *Cumbres*, 1(2), 28–34.
- Villaseñor, D., Luna, E., & Jaramillo, E. (2016). Protección del Ambiente Caracterización de las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos del humedal. *Revista La Técnica*, 17(3), 84–95.
- Villaseñor, D., Noblecilla-Romero, Y., Molero-Naveda R, L.-R. E., Barrazueta-Unda, S., Huarquilla-Henriquez, W., González-Porras, C., & Garzón-Montealegre, J. (2020). Optimal economic response of potassium fertilization on productive variables of banana (Musa spp.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 36(2), 161–170.
- Villaseñor, D., Prado, R., Pereira da Silva, G., Carrillo, M., & Durango, W. (2020). DRIS norms and limiting nutrients in banana cultivation in the South of Ecuador. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2785–2796.
- Yong, Leyom, & Tay. (2018). Sorption of lead from aqueous system using cocoa pod husk biochar: Kinetic and isotherm studies. *International Journal of High Risk Behaviors & Addiction*.

ANEXOS

ISSN: 2631-2662

Fecha de presentación: junio, 2022

Fecha de aceptación: julio, 2022

Fecha de publicación: septiembre, 2022

ENMIENDAS EDÁFICAS

DE BIOCARBONES Y SiO₂ EN PLANTAS DE BANANO CON MANEJO DE AGRICULTURA ORGÁNICA

SOIL AMENDMENT WITH BIOCHAR AND SiO₂ IN BANANA TREES CULTIVATED IN AN ORGANIC FARMING SYSTEM

Darwin Alfredo Rocafuerte Vélez¹

E-mail: darwin_rocafuerte@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7261-1199>

Salomón Barrezueta Unda¹

E-mail: sabarrezueta@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4147-9284>

Edison Jaramillo Aguilar¹

E-mail: ejaramillo@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8241-9598>

¹ Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rocafuerte Vélez, D. A., Barrezueta Unda, S., & Jaramillo Aguilar, E. (2022). Enmiendas edáficas de biocarbones y SiO₂ en plantas de banano con manejo de agricultura orgánica. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5(3), 113-123.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón (BC) obtenido a partir de cáscara de mazorca de cacao (BCC) y tallo de banano (BCB) en combinación con varios abonos orgánicos en el desarrollo de plantas sucesión. Para determinar los efectos se estableció un diseño completamente al azar, conformado por los tratamientos T1 (15 g de BCC), T2 (30 g de BCC), T3 (30 g de BCB), T4 (30 g de BCB) en mezcla con 100 g de SiO₂ y 500 ml de biol. Los tratamientos T5 y T6 se conformaron por 60 g BCC y 60 g BCB + 50 ml de *Trichoderma* spp., y 50 ml de biol (T5) y el tratamiento T7 conformó por 100 g de SiO₂. En todos los tratamientos con BC se logró el incremento del pH del suelo, pero solo en T1 se alcanzó un valor >pH 6. La altura de las plantas y el grosor del pseudotallo al final del experimento fueron muy homogéneos en los tratamientos con biocarbón y superiores a los obtenidos en el tratamiento control. El efecto de los biocarbones en el número de hojas al final del experimento varió de 9 a 11 hojas, resultado favorable para obtener un racimo óptimo para la exportación.

Palabras clave:

Enmienda orgánica, agricultura orgánica, carbón vegetal, banano.

ABSTRACT

The aim of the research was to evaluate the effect of different doses of biochar (BC) obtained from cocoa pod husk (BCC) and banana stalk (BCB) in association with several organic manures on growth of succession plants. To determine the effects, it was established a completely randomized design, composed of treatments T1 (15 g of BCC), T2 (30 g of BCC), T3 (30 g of BCB), T4 (30 g of BCB) in mixture with 100 g of SiO₂ and 500 ml of biol. Treatments T5 and T6 consisted of 60 g BCC and 60 g BCB + 50 ml of *Trichoderma* spp. and 50 ml of biol (T5) and treatment T7 consisted of 100 g of SiO₂. In all treatments with BC the increase of soil pH was achieved but only in T1 a value >pH 6 was reached. Plant height and pseudostem thickness at the end of the experiment were very homogeneous in the biochar treatments and higher than those obtained in the control treatment. The effect of biochar on the number of leaves at the end of the experiment ranged from 9 to 11 leaves, a favorable result for obtaining an optimal bunch for export.

Keywords:

Organic amendment, organic agriculture, biochar, banana.

INTRODUCCIÓN

A nivel global el suelo es afectado por la agricultura de manera muy particular; tanto, en el control de las plagas y en la aplicaciones de fertilizantes, ocasionando: erosión, acidificación, contaminación por metales pesados, compactación, salinización, pérdida de materia orgánica, entre otros. Dentro de las estrategias para la recuperación edáfica están el cambio del manejo agronómico de la finca, de un modelo convencional a uno de agricultura orgánica (Puentes-Escobar, 2021). Por otra parte, durante la transición del modelo convencional al orgánico, el suelo puede estar tan degradado que aplicar los abonos sean ineficaces, a pesar de utilizar la dosis recomendada (Ferry, et al., 2022). Esto se explica, porque sólo se satura el suelo, en algunos casos porque el pH puede ser ácido o extremadamente alcalino, que limita la disponibilidad de los elementos esenciales para las plantas (Ferry, et al., 2022). Por tanto, es necesario aplicar enmiendas al suelo para lograr un manejo sustentable de este recurso natural (Barrezueta-Unda, et al., 2022).

Entre las propuestas de manejo sustentable del suelo, se encuentra la incorporación de residuos vegetales, incluyendo composta, estiércol de animales, residuos de cosechas, pajas, cascarillas de algunas gramíneas como el arroz o el trigo (Pérez-Cabrera, et al., 2022). Pero su descomposición es lenta y su composición es en algunos casos altamente ácida, así como también, pueden ingresar plagas y patógenos con estos abonos, siendo recomendable el uso del vermicompost o del biocarbón (Tian, et al., 2021). En este contexto el biocarbón se presenta como una alternativa viable para enmendar los suelos degradados en especial con pH ácido (Barrezueta-Unda, et al., 2022).

El biocarbón es un material recalcitrante y rico en carbono que se obtiene al exponer la biomasa a temperaturas superiores a 300 °C, en un entorno con poco o ningún oxígeno; es decir, mediante el proceso de pirólisis (Meyer, et al., 2018; Jindo, et al., 2020). Las propiedades del biocarbón están dadas por una baja densidad aparente, una alta porosidad, una elevada superficie específica, una alta capacidad de intercambio catiónico, pero también es un abono altamente alcalino (Meyer, et al., 2018). Pero las propiedades del biocarbón dependen del contenido y la naturaleza química de los componentes orgánicos e inorgánicos en su matriz (Yong, et al., 2018); por ejemplo, el biocarbón puede tener en las cenizas minerales como: el silicio, el aluminio, el calcio, el magnesio, el fósforo, el sodio y el potasio (Jindo, et al., 2020), pero también puede estar ausente algunos elementos mencionados.

En los biocarbones se pueden encontrar los grupos funcionales que incluyen hidroxilo, carbonilo, carboxilo, éter, éster, sulfónico, alifático, fenólico y aromático. Pero los grupos enriquecidos con carbono como carbonilo y carboxilo tiene una mayor capacidad de intercambio catiónico, factor que permite una alta disponibilidad de

nutrientes para las plantas; así como también, inmovilizar metales pesados como el cadmio o el plomo (Jindo, et al., 2020).

El banano (*Musa spp.*), se cultiva en más de 135 países de las regiones tropicales y subtropicales y es uno de los cultivos más importantes del mundo (Magdama, et al., 2020). En particular, el comercio de banano contribuye en gran medida a las economías nacionales de los principales países exportadores, como Ecuador, donde esta musácea representa el segundo mayor producto de exportación después del petróleo (Magdama, et al., 2020). En Ecuador, la explotación del banano en 2018 produjo 6,2 millones de toneladas (t) en 158057 ha de cultivadas, con una productividad media de 39 t ha⁻¹ (Villaseñor, et al., 2020). Por otra parte, en América Latina es el principal exportador de banano orgánico, aunque aún sólo representa el 3 % del banano convencional exportado (Vásquez-Castillo, et al., 2019). La superficie de banano orgánico en Ecuador es de 19000 ha, con una producción de 360 000 t año⁻¹. El principal destino de banano orgánico es Estados Unidos, Europa y Nueva Zelanda (Vásquez-Castillo, et al., 2019).

Los problemas de la gradación de los suelos cultivados de banano han tomado mucha importancia en especial en la conversión de banano convencional a una producción de banano orgánico. Si bien una gran parte del área bananera ecuatoriana ha sido sembrada sin base en estudios previos del terreno, las plantaciones se encuentran sobre suelos aptos para la agricultura como los de textura francoarenosa, francoarcillosa, francoarcillo limosa y franco limosa que se caracterizan por ser permeables, condición fundamental para una buena producción de banano (Barrezueta-Unda, et al., 2022). Los biocarbones obtenidos a partir de los restos de la cosecha del banano es una alternativa no sólo deben aplicarse como enmienda para suelos degradados, también para problemas de compactación, bajo nivel de materia orgánica y para potenciar el desarrollo de las plantas de banano (Sial, et al., 2019). En aspectos la sustentabilidad de la producción a largo plazo puede manejarse con enmiendas a base de biocarbón en combinación con otros productos biológicos como el hongo *Trichoderma spp.*, y biofermentos. Esta estrategia ha sido probada con éxito en otras plantaciones de banano en la provincia de El Oro, pero es necesario saber su efecto en una plantación orgánica en el desarrollo de las plantas de sucesión.

La aplicación de los fertilizantes o de abonos orgánicos en el banano es directamente al suelo; teniendo como desventaja, la pérdida de nutrientes y minerales por lixiviación y por la volatilización (Azüero-Gaona, et al., 2020). Esto ocasiona en las plantaciones de banano convencionales u orgánicas que no cubren las demandas nutricionales a la cosecha (Villaseñor, et al., 2020). Es por eso que cada planta de sucesión se desarrolla con problemas que afectan el vigor de la siguiente generación como: retardo

en el crecimiento y grosor del pseudotallo y alta incidencia del patógeno *Mycosphaerella fijiensis* (Sigatoka Negra) en el área foliares (Quevedo-Guerrero, et al., 2019).

En este contexto, el objetivo principal fue evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón (BC) obtenido a partir de cáscara de mazorca de cacao (CBC) y tallo de plátano (BBC) en combinación con varios abonos orgánicos en el desarrollo de plantas sucesión del Musa AAA, en un suelo ácidos del cantón Arenillas (provincia de El Oro; Ecuador).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó entre la latitud 3°33' Sur y la longitud 80°14' Oeste, a 5 msnm, en una plantación bananera ubicada en el cantón Arenillas, provincia de El Oro (Ecuador). Los suelos en la zona son de origen aluvial y se categorizan en el orden entisol y alfisol. La textura predominante es franco arenoso a franco arcillo en los primeros 15 cm. El clima en la zona es tropical seco y los registros meteorológicos se tomaron de la estación meteorológica de la finca. La temperatura media fue de 25,5 °C, la humedad relativa fue de 87,03% y la precipitación fluctúa entre 14,37 mm a 180,68 mm (Tabla 1).

Tabla 1. Registro de variables meteorológicas tomadas en la finca bananera.

| Año/mes | Temperatura (°C) | | | Humedad Relativa (%) | Precipitación (mm) |
|------------------|------------------|--------|--------|----------------------|--------------------|
| | promedio | mínimo | máximo | | |
| 2021/diciembre | 24,54 | 20,60 | 31,90 | 88,24 | 14,37 |
| 2022/enero | 25,33 | 20,80 | 32,00 | 86,69 | 100,75 |
| 2022/febrero | 25,75 | 21,50 | 33,80 | 85,84 | 54,23 |
| 2022/marzo | 26,36 | 21,70 | 33,30 | 87,37 | 180,68 |
| Promedio general | 25,50 | 21,15 | 32,75 | 87,03 | 87,5075 |

Para obtener el biocarbón fue necesario construir un reactor pirolítico, que fue diseñado según las medidas especificadas por Fuentes Hernández & Recio Recio (2005); y Marín-Armijos, et al., (2018). La estructura fue de metal conformado por un cilindro de fondo cónico y tapa elíptica, altura total 0,90 m y diámetro 0,57 m (Figura 1A). Luego en el centro del cilindro se acopla un tubo metálico rectangular de 1,20 m de largo por 10 cm de ancho, estructura que sobrepasa la tapa del cilindro y cumple la función de transmitir el calor en el interior del cilindro (Figura 1B). Con esta división en el cilindro se generan dos zonas de reacción. La primera es la zona de combustión que inicia con la conducción del calor por el tubo metálico. La segunda zona es la del interior del cilindro, espacio donde se produce la pirólisis. También se acopló un termómetro para controlar la temperatura (Figura 1C).

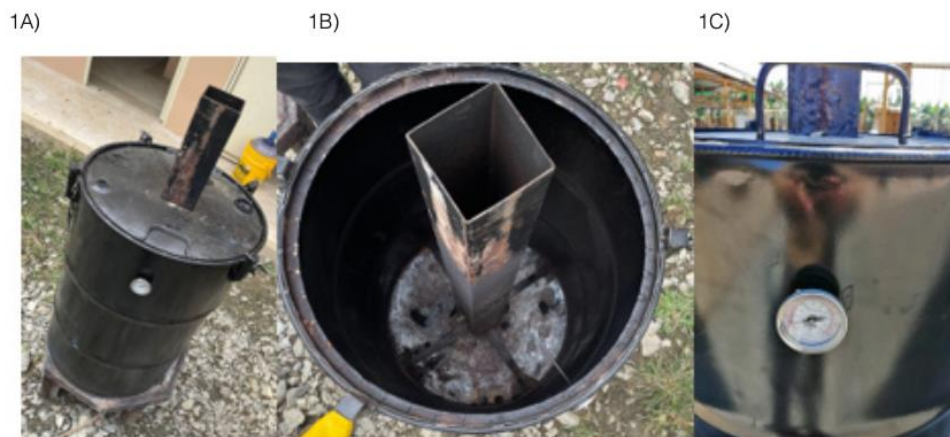


Figura 1. Construcción de reactor pirolítico: A) vista frontal del reactor; B) interior del reactor; C) Termómetro acoplado al reactor.

Previo a la construcción del reactor pirolítico, se recolectó cortó trozos de raquis de banano y trozos de la cáscara (mesocarpio) de la mazorca del cacao (Figura 2A), restos proveniente de las plantaciones próximas al lugar del experimento. Luego con el reactor listo, se procedió a introducir la biomasa seca hasta alcanzar 2 tercios del tanque, debido que la intención es generar en la zona de pirólisis es una presión de gases que ocasionan el consumo del oxígeno (Fuentes Hernández & Recio Recio, 2005). Luego se trituró, tamizó y se dejó en fermentación por 1 mes en sacos para después verificar su pH y humedad (Figura 2). Este procedimiento fue realizado por separado tanto para la mazorca del cacao como la del raquis del banano.



Figura 2. Producción de biocarbón a partir de biomasa vegetal.

Para obtener el biol se preparó en un tanque de 200 l al que se agregó la cuarta parte de agua para mezclar con 4 l de melaza. Asimismo, se añadieron 4 l de melaza, 1 kg de levadura de trigo y 1 kg de alfalfa, se mezcló bien para luego aforar el tanque con agua limpia hasta 15 cm abajo del borde (Barrezueta-Unda, et al., 2022). Al final, se incorporaron 100 g de Tricoder (*Trichoderma spp.*) producto adquirido a una casa comercial.

El tipo de investigación fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo y de tipo comparativa. Bajo estas directrices primero se midió los parámetros de pH, conductividad eléctrica (CE) y humedad relativa de los biocarbones solo y luego en mezclas con el SiO₂. Los parámetros de pH y CE se midieron en un potenciómetro portátil en relación con agua destilada de 1:2,5. La humedad relativa se determinó introduciendo un hidrómetro de campo en vasos de 500 g. Estas determinaciones se realizaron por triplicado. También se midió el pH del suelo en el inicio y fin del ensayo y la compactación determinada mediante un penetrómetro digital en campo a los primeros 23 cm desde la superficie frente a cada planta de sucesión. Esta última determinación física se realizó al final del ensayo.

Para determinar los efectos de la aplicación, se estableció un diseño experimental completamente al azar, conformado por 7 tratamientos establecidos en parcelas de 100 x 100 m (Tabla 2). En cada tratamiento se identificó 15 plantas para la toma de datos. Los tratamientos T1 y T2 se conformaron de 15 y 30 g biochar de cacao (BCC), respectivamente en mezcla con 100 g de Dióxido de silicio (SiO₂) más 500 ml de biol. Los tratamientos T3 y T4 se aplicaron 15 y 30 g biochar de banano (BCB), respectivamente en mezcla con 100 g de SiO más 500 ml de biol. También se aplicaron

dos tratamientos en dosis 60 g BCB + 100 de SiO₂ + 50 ml de *Trichoderma spp.* y 50 ml de biol (T5) y 60 g de BCB + *Trichoderma spp.* y 50 ml de biol (T6). El tratamiento siete (T7) fue el control y se aplicó 100 g de SiO₂.

Tabla 2. Tratamientos y dosis aplicadas.

| Tratamiento | Dosis/plantas |
|-------------|---|
| T1 | 15 g biocarbón de cacao + 100 g de SiO ₂ + 50 ml de biol |
| T2 | 30 g de biocarbón de cacao + 100 g de SiO ₂ + 50 ml de biol |
| T3 | 15 g de biocarbón de banano + 100 g de SiO ₂ + 50 ml de biol |
| T4 | 30 g de biocarbón de banano + 100 g de SiO ₂ + 50 ml de biol |
| T5 | 60 g de biocarbón de cacao + 50 ml de biol + <i>Trichoderma spp.</i> |
| T6 | 60 g de biocarbón de banano + 50 ml de biol + <i>Trichoderma spp.</i> |
| T7 | 100 g de SiO ₂ |

El proceso de aplicar las dosis a las plantas de sucesión (Figura 3A), fueron similar a las descritas por Barrezueta-Unda, et al. (2022), y consiste en aplicar en media luna al suelo el biocarbón delante de la planta de sucesión (Figura 3B). A los 8 días se aplicó el biol en media luna con ayuda de una bomba manual de 20 litros. Se realizaron dos aplicaciones con un intervalo de 6 semanas. El registro de datos se realizó cada 4 semanas después de la primera aplicación.

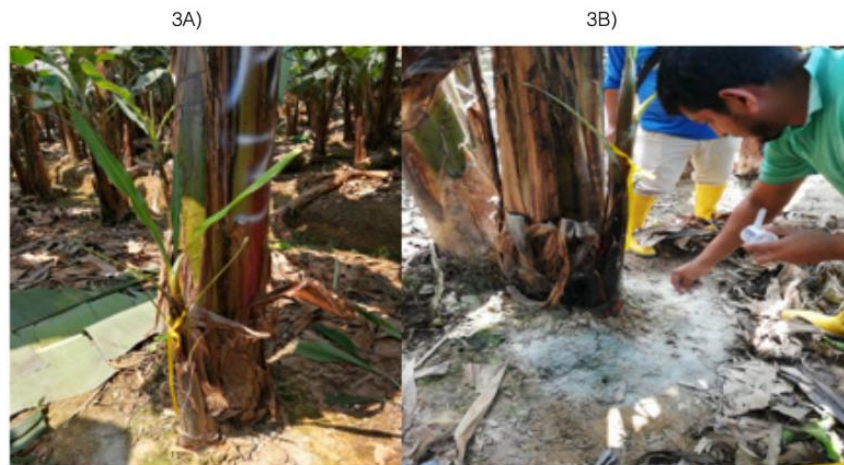


Figura 3. Aplicación de las dosis en las parcelas: A) Plan de sucesión; B) aplicación en media luna frente a la planta

Durante la investigación se tomaron las variables:

La altura del pseudotallo (cm): se calculó con una cinta graduada desde el nivel del suelo hasta el inicio de la emergencia de las hojas.

Diámetro del pseudotallo (cm): con una cinta graduada se midió la circunferencia del pseudotallo ajustada en la mitad del pseudotallo.

Número de hojas: mediante un conteo directo se registró las emisiones de hojas, se excluyen las hojas no funcionales y la hoja no abiertas en un 100%.

Los datos fueron ingresados en el programa Excel. Las variables fueron tratadas con la media y la desviación estándar. Para establecer diferencia entre los tratamientos, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) con nivel de significancia de 5%. También se realizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$), en las variables que mostraron diferencias entre las medias. Todos los datos fueron analizados con el programa SPSS versión 23.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los biocarbonos puro y en mezclas mostraron diferencias numéricas en la medición del pH y de la CE (Tabla 3). El pH obtenido de BCC y BCB puros fueron extremadamente alcalinos (pH 10,43 y 9,95, respectivamente). La mezcla de tratamientos con BC con SiO₂ no bajó de manera considerable, aunque el pH SiO₂ fue de 7 (T7). Pero en la mezcla con *Trichoderma spp.*, y BCB el valor disminuyó a fuertemente alcalino (pH 8,42). Otra propiedad química analizada fue la CE, en el caso de BCC y BCB fue de 0,16 a 0,88 dS/m, respectivamente, mientras que la mezclas de los biocarbonos con SiO₂ decrecieron entre 0,13 a 0,67 dS/m. Estos valores están clasificados como no salinos y adecuado para su aplicación en el suelo. En esta investigación los valores de pH y CE fueron diferentes a los obtenidos por Cuenca-Rivera, et al. (2019); y Barrezueta-Unda, et al. (2021). Esto se explica por el nivel de oxígeno, la temperatura y tiempo en que se realiza la pirólisis, cuando la temperatura es mayor a 300 C se liberan iones alcalinos, y se obtiene un biocarbón que aunque se mezcle con SiO₂ el valor será de extremadamente alcalino (Cui, et al., 2016).

Tabla 3. Valores de pH y conductividad eléctrica.

| Parámetros | BCC | BCB | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 |
|-----------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| pH | 10,43 | 9,95 | 9,6 | 9,95 | 9,83 | 9,94 | 10,08 | 8,42 | 7,00 |
| Conductiva eléctrica (dS/m) | 0,16 | 0,88 | 0,23 | 0,50 | 0,14 | 0,24 | 0,13 | 0,67 | 0,01 |
| Humedad (%) | 10,3 | 11,6 | 0 | 2 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | 0 | 0 |

Los valores de pH tomado al momento de aplicar las dosis por cada tratamiento fueron muy homogéneos variando entre un pH 4,9 a 5,1; estos valores se categorizan como los de un suelo fuertemente ácido. En el último registro luego de 12 semanas los valores se incrementaron significativamente. Solo en T1 se obtuvo un pH 6,10, categorizado como neutro. En los tratamientos T4 y T5, el pH promedio fue de 5,7 y en T2, T3 y T6 el registro fue de 5,60, valores que corresponde a un suelo moderadamente ácido. El menor incremento fue de 5,10 que corresponde a T7. Valores que fueron similares a los obtenidos por Barrezueta-Unda, et al. (2022), aunque el manejo del suelo anterior como es el ingreso de altas concentraciones de Materia orgánica puede incidir en suelo ácida y su cambio se debe medir en un plazo más largo.

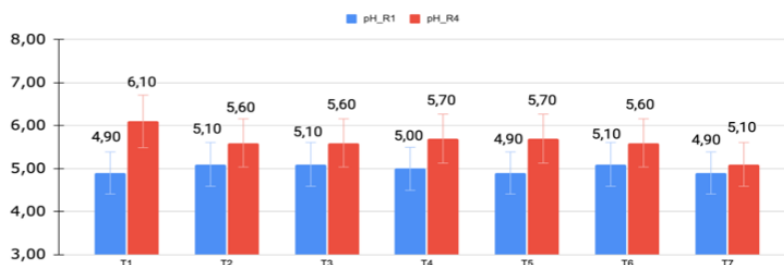


Figura 4. Promedios de pH por tratamiento del primer registro (barra azul) y el cuarto registro (barra roja).

La Figura 5, muestra el grado de compactación del suelo después de 30 días del último registro. Los valores más altos fueron de 200 g/cm³ y 195 g/cm³ que corresponden a T1 y T6, respectivamente. Por otra parte, el valor más bajo fue de 125 g/cm³ registrado en T7. En los demás tratamientos varió de 150 a 165 g/cm³. Bustamante León, et al. (2018), explican que la presencia de abonos orgánicos causa un efecto de resistencia a la compactación, por la razón que almacena mayor contenido de humedad que un suelo sin alto contenido de materia orgánica.

| Registro | Tratamiento | Media (\pm) | Mínimo | Máximo | Sig 0,05 |
|----------|-------------|-----------------|--------|--------|----------|
| R3 | T1 | 1,96 \pm 0,23 | 1,62 | 2,38 | 0,001 |
| | T2 | 2,08 \pm 0,33 | 1,42 | 2,90 | |
| | T3 | 2,06 \pm 0,23 | 1,60 | 2,30 | |
| | T4 | 1,92 \pm 0,32 | 1,38 | 2,54 | |
| | T5 | 2,00 \pm 0,22 | 1,52 | 2,30 | |
| | T6 | 1,90 \pm 0,27 | 1,30 | 2,22 | |
| | T7 | 1,65 \pm 0,28 | 1,25 | 2,15 | |
| R4 | T1 | 2,30 \pm 0,68 | 1,72 | 3,10 | 0,05 |
| | T2 | 2,55 \pm 0,45 | 1,76 | 3,76 | |
| | T3 | 2,57 \pm 0,31 | 1,85 | 3,00 | |
| | T4 | 2,46 \pm 0,29 | 2,04 | 2,97 | |
| | T5 | 2,55 \pm 0,30 | 1,90 | 2,88 | |
| | T6 | 2,46 \pm 0,34 | 1,72 | 3,08 | |
| | T7 | 2,16 \pm 0,34 | 1,50 | 2,84 | |

El análisis de varianza del diámetro del pseudotallo por tratamiento se muestra que en los registros R1 y R3 existen diferencias significativas ($p < 0,05$), mientras en R2 y R4 solo se obtuvo diferencias numéricas (Tabla 5). El promedio más alto en R1 fue 0,24 m (T5) y el menor valor de 0,20 m (T7). En R2, los valores fueron más ajustado con una media de 0,26 m obtenido en T4, T5 y T6, seguido de T1, T2 y T3 que registraron 0,25 m, y T7 con 0,23 m.

En R3, los valores entre los tratamientos con BC se ajustaron a un rango de 0,24 m a 0,38 m, con una diferencia entre sus promedios de 0,30 m a 0,31 m, mientras que T7 el valor más alto fue de 0,32 m y su promedio de 0,27 m. En R4, el rango entre los tratamientos con BC fue de 0,29 m (T3) a 0,52 m (T1) y en el control de 0,28 m a 0,46 m. Los tratamientos T2 y T3 en R4 promediaron 0,39 m, en T1, T4, T5 y T6 el valor fue de 0,38 m y en T7 de 0,35 m. Estos valores son similares a los obtenidos por Barrezueta-Unda. et al. (2022), en R1, pero inferiores a los obtenidos en R4. Los investigadores concluyen que el mejor desarrollo del pseudotallo se logró con dosis de 20 y 30 g de BC más 100 g de SiO₂. En este caso los valores al final del ensayo no fueron significativos; por la razón que el manejo orgánico de la finca pudo incidir en un menor fuste en relación con fincas con manejo convencional, donde los insumos origen sintético son un factor que influye en este parámetro vegetativo.

Tabla 5. Análisis de varianza para diámetro de pseudotallo por tratamientos.

| Registro | Tratamiento | Media | Mínimo | Máximo | Sig 0,05 |
|----------|-------------|-----------------|--------|--------|----------|
| R1 (m) | T1 | 0,21 \pm 0,03 | 0,16 | 0,27 | 0,02 |
| | T2 | 0,21 \pm 0,03 | 0,16 | 0,25 | |
| | T3 | 0,21 \pm 0,03 | 0,14 | 0,26 | |
| | T4 | 0,23 \pm 0,03 | 0,18 | 0,28 | |
| | T5 | 0,24 \pm 0,03 | 0,19 | 0,27 | |
| | T6 | 0,22 \pm 0,04 | 0,18 | 0,28 | |
| | T7 | 0,20 \pm 0,04 | 0,15 | 0,32 | |
| R2 (m) | T1 | 0,25 \pm 0,03 | 0,20 | 0,30 | 0,15 |
| | T2 | 0,25 \pm 0,03 | 0,22 | 0,30 | |
| | T3 | 0,25 \pm 0,03 | 0,20 | 0,29 | |
| | T4 | 0,26 \pm 0,03 | 0,22 | 0,32 | |
| | T5 | 0,26 \pm 0,03 | 0,21 | 0,32 | |
| | T6 | 0,26 \pm 0,03 | 0,21 | 0,30 | |
| | T7 | 0,23 \pm 0,03 | 0,19 | 0,31 | |

| Registro | Tratamiento | Media | Mínimo | Máximo | Sig 0,05 |
|----------|-------------|-------------|--------|--------|----------|
| R3 (m) | T1 | 0,30 ± 0,04 | 0,24 | 0,37 | 0,01 |
| | T2 | 0,32 ± 0,03 | 0,28 | 0,38 | |
| | T3 | 0,31 ± 0,03 | 0,26 | 0,36 | |
| | T4 | 0,31 ± 0,04 | 0,25 | 0,38 | |
| | T5 | 0,31 ± 0,03 | 0,26 | 0,38 | |
| | T6 | 0,31 ± 0,04 | 0,24 | 0,37 | |
| | T7 | 0,27 ± 0,03 | 0,21 | 0,32 | |
| R4 (m) | T1 | 0,38 ± 0,05 | 0,30 | 0,52 | 0,253 |
| | T2 | 0,39 ± 0,04 | 0,33 | 0,44 | |
| | T3 | 0,39 ± 0,04 | 0,29 | 0,44 | |
| | T4 | 0,38 ± 0,05 | 0,30 | 0,46 | |
| | T5 | 0,38 ± 0,04 | 0,30 | 0,46 | |
| | T6 | 0,38 ± 0,04 | 0,31 | 0,44 | |
| | T7 | 0,35 ± 0,05 | 0,28 | 0,46 | |

La comparación de medias del número de hojas contabilizadas en la primera semana (barras en azul) y la última semana (barra en rojo) de registro de datos se presenta en la Figura 6. Se determinó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre el T1 con un registro de 14 hojas y los tratamientos T2, T3, T4, T6 con 12 hojas, T5 con 13 hojas y T7 con 12 hojas. En el último registro (R4), los valores disminuyeron por el motivo que son plantas que se encontraban con la emisión de sus racimos florales, también por el efecto del patógena *Sigatoka* negra que afecta la lámina foliar.

Con este antecedente los tratamientos con un mayor número de hojas fueron: T2, T3 y T5 con 11 hojas, seguido de T1 con 10 hojas, T4 y T6 con 9 hojas y el T7 con 6 hojas. El número de hojas tanto al inicio como al final del ensayo fueron similares a los registros de Barreuzeta-Unda, et al. (2022). Varios investigadores afirman que al momento de la aparición las plantas deben tener un mínimo 8 hojas sanas y funcionales para asegurar un llenado y a la cosecha en una plantación orgánica (Quevedo-Guerrero, et al., 2019; Barreuzeta-Unda, et al., 2022).

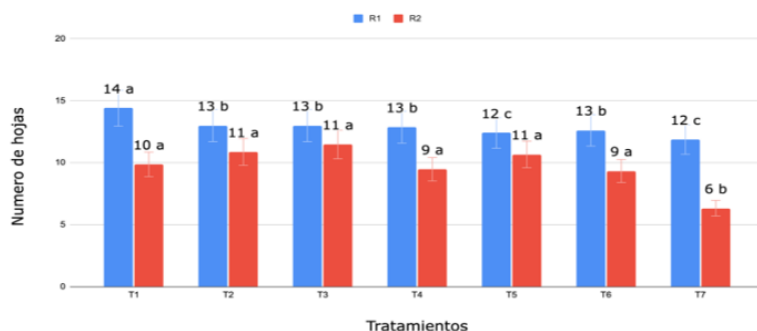


Figura 6. Test de Tukey para el número de hojas.

CONCLUSIONES

El efecto de los biocarbones más el SiO₂ sobre el suelo fue el esperado. En todos los tratamientos con biocarbón se tuvo el incremento del pH del suelo, pero solo en T1 se alcanzó un valor >pH 6, tratamiento donde se obtuvo una menor compactación de suelo.

La altura de las plantas y el grosor del pseudotallo al final del experimento fueron muy homogéneos en los tratamientos con biocarbón y superiores a los obtenidos en el tratamiento control.

El efecto de los biocarbones más el SiO₂ en el número de hojas el experimento es un resultado favorable para obtener un racimo óptimo para la exportación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azuero-Gaona, B., Quevedo-Guerrero, J., & García-Batista, M. (2020). Efecto del biocarbón y microorganismos en la producción y estado fitosanitario de banano orgánico en la parroquia "La Victoria". *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 110–120.
- Barrezueta-Unda, S., Condoy Gorotiza, A., & Sánchez Pilcorema, S. (2022). Efecto del biocarbón en el desarrollo de las plantas de banano (*Musa AAA*) en fincas a partir de un manejo orgánico y convencional. *Enfoque UTE*, 13(3), 29-44.
- Barrezueta-Unda, S., & Sisalima-Morales, P. (2021). Efectos de biochar en el desarrollo vegetativo de *Theobroma cacao* L. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 86–91.
- Bustamante León, M., Chabla Carrillo, J., & Barrezueta Unda, S. (2018). La densidad y humedad crítica como indicadores de la compactación de suelos cultivados con banano. *Agroecosistemas*, 6(1), 168–174.
- Cuenca-Rivera, J., Quevedo-Guerrero, J., & García-Batista, R. (2019). Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 6–11.
- Cui, X., Fang, S., Yao, Y., Li, T., Ni, Q., Yang, X., & He, Z. (2016). Potential mechanisms of cadmium removal from aqueous solution by *Canna indica* derived biochar. *The Science of the Total Environment*, 562, 517–525.
- Ferry, Y., Herman, M., Tarigan, E. B., & Pranowo, D. (2022). Improvements of soil quality and cocoa productivity with agricultural waste biochar. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 974(1).
- Fuentes Hernández, A., & Recio Recio, R. (2005). Propuesta de diseño de un horno-reactor para realizar la pirólisis de la cáscara de arroz. *Tecnología Química*, 25(2), 87–98.
- Jindo, K., Sánchez-Monedero, M. A., Mastrolonardo, G., Audette, Y., Higashikawa, F. S., Silva, C. A., Akashi, K., & Mondini, C. (2020). Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 2: A review of the biochar roles in growing media, composting and as soil amendment. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(1), 1-10.
- Magdama, F., Monserrate-Maggi, L., Serrano, L., García Onofre, J., & Jiménez-Gasco, M. D. M. (2020). Genetic Diversity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, the *Fusarium* Wilt Pathogen of Banana, in Ecuador. *Plants*, 9(9).
- Marín-Armijos, J., García-Batista, R., & Barrezueta-Unda, S. (2018). Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 75–81.
- Meyer, R. S., Cullen, B. R., Whetton, P. H., Robertson, F. A., & Eckard, R. J. (2018). Potential impacts of climate change on soil organic carbon and productivity in pastures of south eastern Australia. *Agricultural Systems*, 167, 34–46.
- Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zobelzu, S., & Knox, J. W. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae*, 276, 109735.
- Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejagal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Alejo-Santiago, G., Castro-Brindis, R., López-Martínez, V., & Alvarado-Camarillo, D. (2022). Biocarbón de ápices de caña de azúcar como enmienda de suelo para el cultivo de *Ocimum basilicum* var. *thyrsoflora* en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 40.
- Puentes-Escobar, T. C., & Rodríguez Carlosama, A. (2021). Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, 18(2).
- Quevedo-Guerrero, J., Delgado-Pontón, A., & Tuz-Guncay, I. (2019). Evaluación de la aplicación de fertilizante al pseudotallo de plantas cosechadas de banano (*Musa x paradisiaca* L.) y su efecto en la velocidad de crecimiento. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 190–197.
- Sial, T. A., Khan, M. N., Lan, Z., Kumbhar, F., Ying, Z., Zhang, J., Sun, D., & Li, X. (2019). Contrasting effects of banana peels waste and its biochar on greenhouse gas emissions and soil biochemical properties. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 366–377.
- Tenesaca-Martínez, S., Quevedo-Guerrero, J., & García-Batista, R. (2019). Determinación de la dosis óptima de biocarbón como enmienda edáfica en el cultivo de banano (*musa x paradisiaca* l.) clon Williams. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 134–141.
- Tian, G.-L., Bi, Y.-M., Jiao, X.-L., Zhang, X.-M., Li, J.-F., Niu, F.-B., & Gao, W.-W. (2021). Application of vermicompost and biochar suppresses *Fusarium* root rot of replanted American ginseng. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(18), 6977–6991.
- 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.
- Villaseñor, D., Prado, R., Pereira da Silva, G., Carrillo, M., & Durango, W. (2020). DRIS norms and limiting nutrients in banana cultivation in the South of Ecuador. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2785–2796.
- Yong, S. K., Leyom, J., Tay, C. C., & Talib, S. A. (2018). Sorption of lead from aqueous system using cocoa pod husk biochar: Kinetic and isotherm studies. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.11), 241-244.