

13

ENMIENDAS EDÁFICAS

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

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 francolimosa 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	maximio		
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 Marin-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).

1A)

1B)

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.

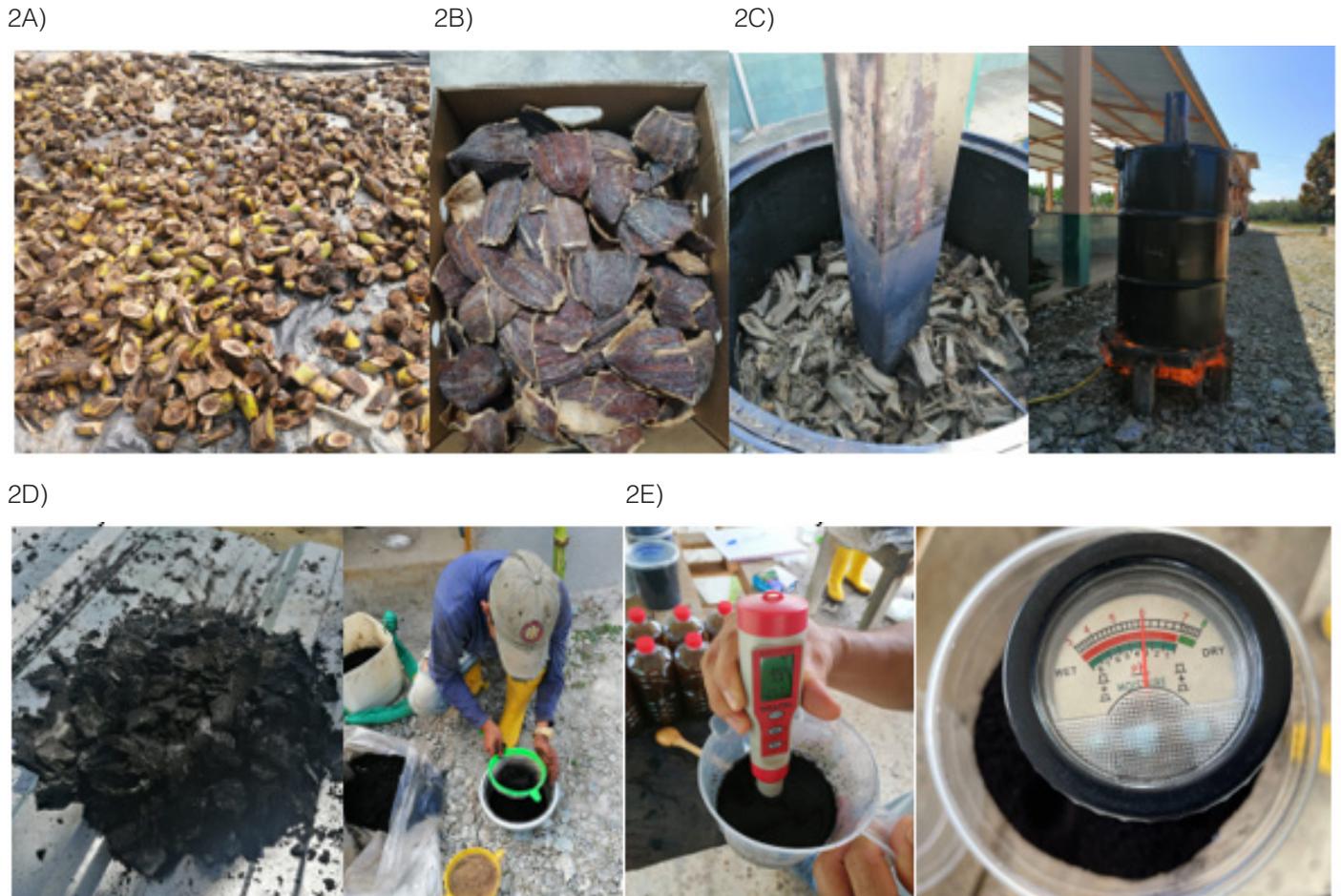


Figura 2. Producción de biocarbón a partir de biomasa vegetal.

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 *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.

3A)

3B)



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 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%.

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 biocarbones 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 biocarbones 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 bio-carbón 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.

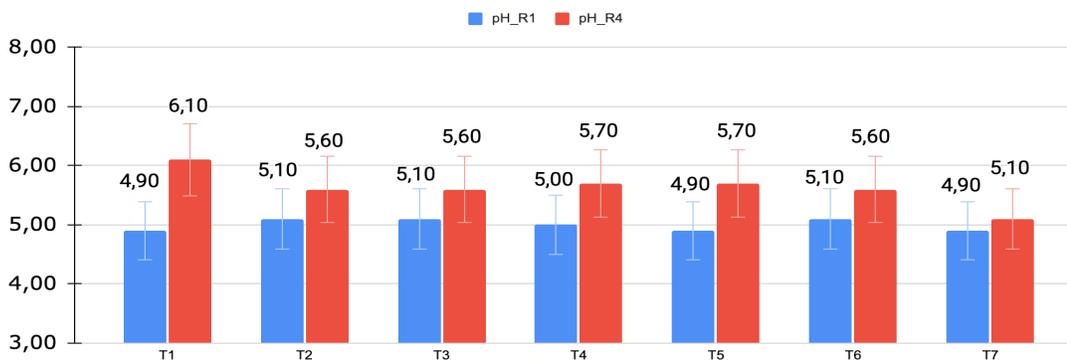


Figura 4. Promedios de pH por tratamiento del primer registro (barra azul) y el cuarto registro (barra roja).

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.

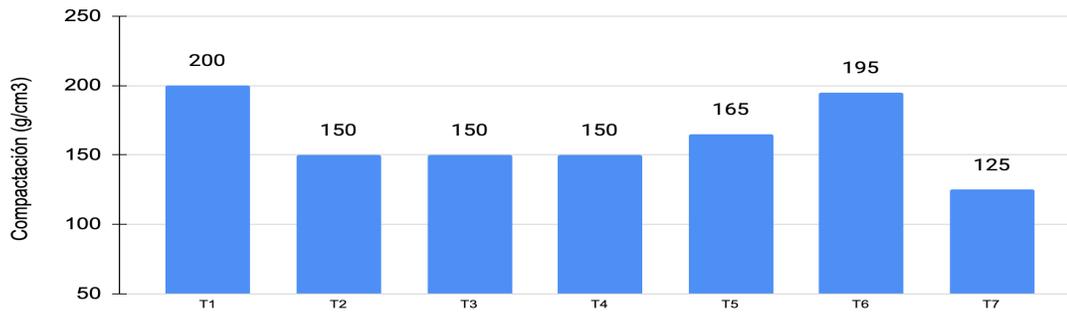


Figura 5. Comparación de la compactación del suelo después de aplicados los tratamientos

El análisis de varianza de altura total indica diferencias significativas ($p \leq 0,05$) que en los tres primeros registros (Tabla 4). 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, et al. (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 obtuvieron 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 (Villaseñor, et al., 2020; Panigrahi, et al., 2021). Por otra parte, la diferencia entre los tratamientos con otras investigaciones puede estar relacionadas al tamaño inicial de la sucesión que fueron tomadas para el ensayo.

Tabla 4. 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	

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

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 Barrezueta-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; Barrezueta-Unda, et al., 2022).

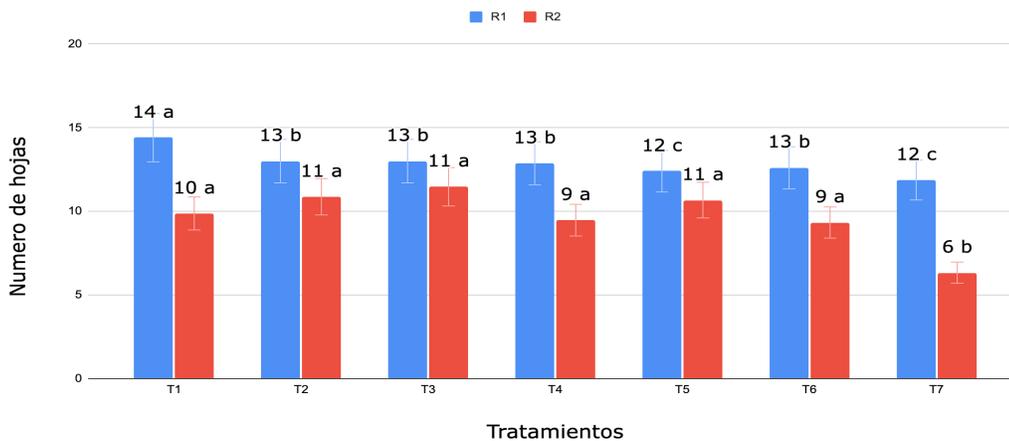


Figura 6. Test de Tukey para el número de hojas.

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 $> \text{pH } 6$, 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-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. thrysiflora 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.