



## Impacto de la fertilización con biocarbón y SiO<sub>2</sub> en el desarrollo del banano

### Impact of biochar and SiO<sub>2</sub> fertilization on the development of the banana tree

Salomon Barrezueta-Unda<sup>1\*</sup>; Carlos Andrés Domingue<sup>1</sup>; Hugo Añazco Loaiza<sup>2</sup>

1 Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala. Avenida Panamericana km 5.5, vía a Pasaje, Machala-Ecuador.

2 Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Machala. Avenida 25 de junio, km 5 ½. Machala, Provincia El Oro, Ecuador.

\* Autor correspondiente: [sabarrezueta@utmachala.edu.ec](mailto:sabarrezueta@utmachala.edu.ec) (S. Barrezueta-Unda).

ID ORCID de los autores

S. Barrezueta-Unda: <http://orcid.org/0000-0003-4147-9284>

C. A. Domingue: <http://orcid.org/0000-0002-2922-8231>

H. Añazco Loaiza: <http://orcid.org/0000-0001-6090-7155>

#### RESUMEN

El banano necesita muchos nutrientes, lo que lleva a los agricultores a depender de fertilizantes químicos que dañan el suelo. Una solución es combinar abonos orgánicos con fertilizantes químicos en menor cantidad. En este marco, el objetivo fue medir el desarrollo de un cultivar de banano en varios tratamientos de biocarbón más dosis fija de SiO<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El biocarbón (BC) se obtuvo del raquis del banano a una temperatura de 350 °C por 2 horas. En el ensayo se evaluaron 10 plantas por tratamiento que se conformaron por dosis por planta de: 100 g de BC + 100 g SiO<sub>2</sub>, 20 g de BC + 100 g SiO<sub>2</sub> y 100 g SiO<sub>2</sub> (parcela testigo). Estas dosis se aplicaron en la semana uno, ocho y 14 del ensayo. La dosis de fertilizantes para todos los tratamientos se conformó de 75 kg ha<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub> + 50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, y que se aplicaron 15 días antes que la dosis de biocarbon y en la semana seis del ensayo. El estudio demostró que el tratamiento con 20 g de biocarbón fue el más efectivo en términos de altura de la planta y circunferencia del pseudotallo, superando al tratamiento con 100 g y al control. Asimismo, el tratamiento con 100 g de biocarbón mostró el mayor peso de racimo en comparación con los otros tratamientos. Los tratamientos con biocarbón, silicio y fertilizantes tuvieron un efecto en las plantas de banano superior a la fertilización química, lo que sugiere su potencial aplicación en la agricultura.

**Palabras clave:** Abono orgánico; Biomasa; *Musa* spp; raquis del banano.

#### ABSTRACT

Bananas have high nutrient needs, and farmers rely on chemical fertilizers that damage the soil. One of the solutions is the combination of organic fertilizers with chemical fertilizers in smaller amounts. In this context, the objective was to measure the development of a banana cultivar in different treatments of biochar plus fixed doses of SiO<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub> and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Biochar (BC) was obtained from banana rhizomes at a temperature of 350 °C for 2 hours. In the experiment, 10 plants per treatment were evaluated, consisting of doses per plant of 100 g BC + 100 g SiO<sub>2</sub>, 20 g BC + 100 g SiO<sub>2</sub> and 100 g SiO<sub>2</sub> (control plot). These doses were applied in weeks one, eight and 16 of the experiment. The fertilizer dose for all treatments was 75 kg ha<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub> + 50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and which were applied 15 days prior to the biocarbon dose and during the sixth week of the experiment. The study showed that the 20 g biochar treatment was the most effective in terms of plant height and pseudostem circumference, surpassing the 100 g treatment and the control. The 100g biochar treatment also had the highest bunch weight compared to other treatments. In general, the biochar, silicon, and fertilizer treatments improved the physiological performance of the plants, suggesting their potential application in agriculture.

**Keywords:** manure; biomass; *Musa* spp.; raquis banana.

Recibido: 06-12-2023.

Aceptado: 12-03-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa acuminata*), una planta herbácea perenne que se reproduce de forma asexual y tiene una alta demanda de nutrientes que se extraen del suelo (Segura et al., 2015; Guzman-Alvarez et al., 2022). En una plantación comercial de banano una planta extrae 125 kg ha<sup>-1</sup> año de nitrógeno (N), 400 kg ha<sup>-1</sup> año de potasio (K) y 15 kg ha<sup>-1</sup> año de fósforo (P) (Villaseñor et al., 2020). Para satisfacer esta demanda de nutrientes la mayoría de los agricultores aplican fertilizantes químicos. El uso exclusivo de fertilizantes químicos para satisfacer estas necesidades puede tener consecuencias negativas en la calidad del suelo y en el medio ambiente (Barrenzueta-Unda et al., 2022). En general, los suelos donde se cultiva banano tienen niveles bajos de materia orgánica y son muy ácidos, lo que restringe la absorción de nutrientes importantes para el crecimiento de la planta (Roibás et al., 2016; Zhang et al. 2020; Barrenzueta-Unda et al., 2022).

El banano es el principal producto agrícola de exportación para Ecuador, y en el 2018, el país logró exportar 6,2 millones de toneladas de banano provenientes de una superficie de 158.057 hectáreas cosechadas (Villaseñor et al., 2020). Esto representa una fuente significativa de ingresos para los agricultores ecuatorianos; sin embargo, para mantener la productividad de las fincas bananeras es necesario aplicar una estrategia que involucre la combinación de abonos orgánicos con dosis adecuadas de fertilizantes químicos (Villaseñor et al., 2020). Con la aplicación de abonos orgánicos se mejoran las propiedades físicas del suelo como la porosidad, la densidad aparente y la retención de agua (Domingues et al., 2017). También influyen en las propiedades químicas de pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, entre otras (Pan et al., 2021).

Se puede obtener abonos orgánicos de diferentes formas, una de ellas es por medio de pirólisis, proceso que se realiza en ausencia de oxígeno a temperaturas entre 300 a 550 °C y de donde se obtiene el biocarbon o biochar (Novara et al., 2018). Una de las características del biocarbón es su alta microporosidad que facilita el intercambio catiónico y la absorción de metales pesados como cadmio y plomo. También, los grupos funcionales que se forman en la superficie del biocarbón como los carboxílicos permiten un mayor aporte de carbono al suelo e intercambio con iónicos con el

zinc (Zn), cobre (Cu) o magnesio (Mg) (Spokas et al., 2012). Pero el biocarbon también tiene limitaciones en la cantidad de N y P dos elementos fundamentales para el desarrollo del banano (Pan et al., 2021; Vidya et al., 2020). A pesar de esta limitante, el biocarbón puede ser una alternativa para reutilizar la biomasa residual de las cosechas y disminuir las aplicaciones de fertilizantes, de esta forma alcanzar un modelo sostenible de agricultura que disminuya la degradación de los suelos.

El uso de enmiendas edáficas se está volviendo cada vez más común en los suelos destinados al cultivo de bananos (Martínez & Cayón Salinas 2011). La razón de esto es que estas enmiendas ayudan a reducir el impacto negativo de la degradación del suelo. Además, el uso de enmiendas edáficas puede mejorar la actividad microbiana del suelo, lo que aumenta su fertilidad y, por lo tanto, mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas de banano. Galecio-Julca et al. (2020), demostró que la fertilización con fuentes orgánico y minerales como el compost y microorganismos eficientes, incrementaron el rendimiento de banano orgánico.

Varios trabajos también recomiendan utilizar una mezcla de biocarbón y silicio en la fertilización de plantas (Barrenzueta et al., 2020; Villaseñor et al., 2020). El silicio es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas que se encuentra comúnmente en el suelo en forma de dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>). Combinar estos dos materiales puede proporcionar un enfoque más completo para la fertilización de las plantas, asegurando la disponibilidad de nutrientes esenciales y mejorando la calidad del suelo. La aplicación de biocarbón junto con dosis fijas de óxido de silicio, nitrato de potasio y fósforo en dosis mínimas puede mejorar el desarrollo de un cultivar de banano (planta madre y el hijo de sucesión) y tener un efecto sinérgico en el crecimiento y desarrollo del banano.

Por otra parte, La combinación de biocarbón con silicio no solo minimiza la formación de compuestos nocivos, como la cristobalita (Ratnadass et al., 2024), sino que también desempeña un papel crucial en la mitigación de la toxicidad del cadmio (Cd), según lo indicado por Tan et al. (2024).

Con lo expuesto, el objetivo de investigación fue medir el efecto de varios tratamientos de biocarbón más dosis fija de óxido de silicio, nitrato de potasio y fósforo en el desarrollo de plantas de banano.

## METODOLOGÍA

La investigación fue desarrollada en una finca bananera ubicada en el sitio La Loma, en la provincia de El Oro, en Ecuador entre las coordenadas: 3° 13' 07.92" y 19° 49' 92.84". La zona tiene las siguientes características climáticas: precipitación media anual es de 750 mm, con un rango de temperatura promedio anual entre 23 a 29 °C. En la zona el orden de suelo es Alfisol de formación aluvial con un predominio de las clases texturales franco limoso y franco arenoso en los primeros 15 cm desde la superficie (Villaseñor et al.,

2020). La finca está cultivada por más de 50 años con el clon de banano Cavendish. Cuenta con un sistema de riego por aspersión subfoliar y una densidad poblacional de 2100 plantas/ha. El análisis de suelo realizado previo al ensayo indica que la clase textural predominante es franco arcilloso en los primeros 15 cm del suelo, y cambia la textura a franco limoso entre los 15 y los 40 cm. El pH se ubicó en 5,9 a 6,5, también se registró una conductividad eléctrica de 5,4 dS/m y un nivel medio de materia orgánica del suelo (2%).

### Obtención del biocarbón

Primero se recolectó la biomasa a conversión en biocarbon cual se conformó por 50 kg de raquis de banano que se cortado en trozos de 10 cm para facilitar el secado por varios días (Figura 1A). Para obtener el producto fue necesario construir un horno conformado por un tanque metálico de 70 cm de alto por 40 cm de ancho. Este tanque se introdujo dentro de otro tanque de 120 cm de alto y 50 cm de ancho (Figura 1B). Para iniciar el proceso de pirólisis el tanque de menor tamaño se le introduce la biomasa hasta la mitad y se cierra con una tapa metálica. Después, se colocó un tanque de gas por debajo del tanque grande, el cual tenía varios orificios por donde se conduce el calor entre el espacio del cilindro pequeño y el grande. Para el biocarbon de banano, se usaron alrededor de 20 libras de biomasa (raquis de banano) durante 120 minutos a 350 °C, luego se dejaron el horno, por varias horas para luego colocar el BC sobre una plancha metálica hasta que se enfrié.

### Diseño del experimento

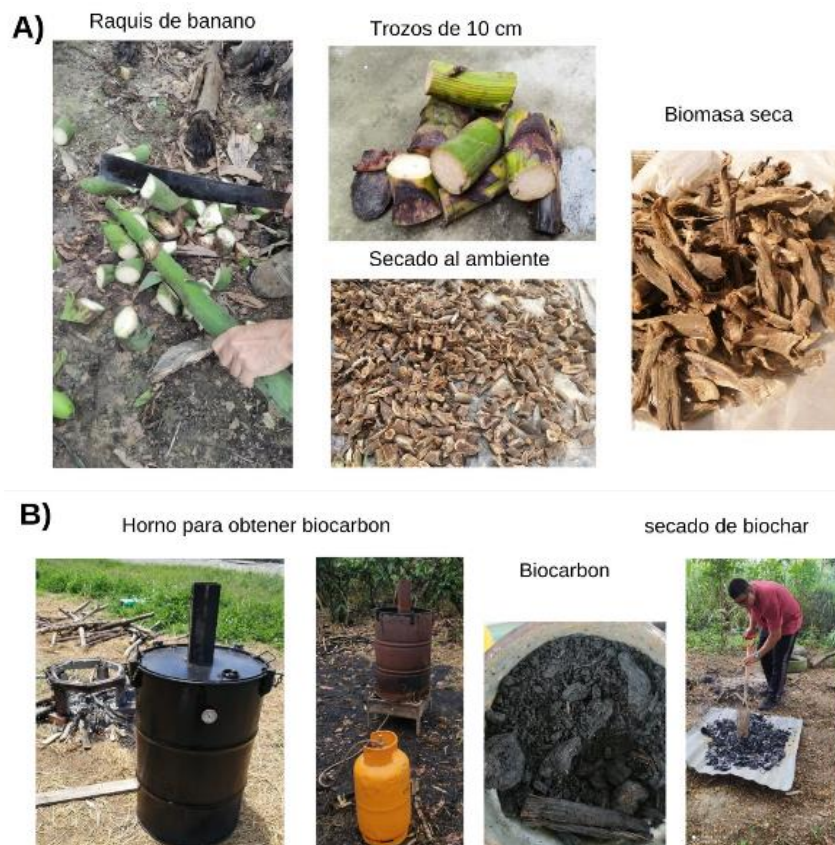
El diseño del experimento corresponde a un diseño completamente al azar con dos tratamientos y una parcela testigo, cada una en parcelas de 5000 m<sup>2</sup>. En cada parcela fueron seleccionadas al azar diez plantas en fase juvenil de 145 a 150 cm de alto, las cuales recibieron los tratamientos. El tratamiento uno se conformó 100 g de biocarbon de banano + 100 g de SiO<sub>2</sub>, el tratamiento dos la dosis fue 20 g + 100 g de SiO<sub>2</sub>. En el testigo no se agregó biocarbon, solo se le aplicó la dosis de 100 g de SiO<sub>2</sub> (Tabla 1).

**Tabla 1**

Diseño de los tratamientos con su respectiva dosis

Tratamientos	Dosis/planta	Dosis ha <sup>-1</sup>
100BC	100 g Biocarbon + 100 g SiO <sub>2</sub>	210 kg Biocarbon + 210 kg SiO <sub>2</sub>
20BC	20 g Biocarbon + 100 g SiO <sub>2</sub>	42 kg Biocarbon + 210 kg SiO <sub>2</sub>
Testigo	100 g SiO <sub>2</sub>	210 kg SiO <sub>2</sub>

En todos los tratamientos se aplicó una dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub> + 50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dosis menor que la recomendada para banano. La dosis de los tratamientos se replicó en dos ocasiones 15 días antes del ensayo y semana 6 durante el ensayo. La fecha de inicio fue el 14 de diciembre de 2020 y culminó el 21 marzo de 2021. La aplicación de las dosis fue frente a la planta. Los fertilizantes se aplicaron en la semana uno y ocho del ensayo alrededor de la planta madre y del hijo de sucesión. Todas las mediciones fueron tomadas desde la primera aplicación de biocarbon + 100 g de SiO<sub>2</sub> y a los 98 días después hasta concluir el ensayo. Para el alto de las plantas se utilizó una cinta métrica colocada al nivel del suelo hasta la parte superior del pseudotallo donde inicia la primera bifurcación de las hojas. Para la circunferencia del pseudotallo se tomó la cinta métrica y se colocó alrededor del pseudotallo a una altura de 110 cm desde la base de la planta, asegurándose de que la cinta estuviera bien ajustada para obtener una medición precisa. Los valores de peso de racimo en la cosecha se tomaron entre el 14 al 21 de abril de 2021. Se utilizó una balanza electrónica para pesar cada racimo cosechado y se registró en kilogramos (kg).



**Figura 1.** Preparación de biocarbón: A) biomasa de raquis de banano; B) obtención de carbón en horno de doble fondo.

### Análisis estadístico

Los valores obtenidos por tratamiento se le realizó una exploración de datos donde se comprobó la normalidad con el test de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas por el test de Levene. Luego se utilizó el ANOVA de una vía y de

comparación de medias mediante la prueba Duncan al 5 % de significación, para determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos. Los valores obtenidos se tabularon en una hoja de cálculo y luego ingresados en el software PSPP (Gnu, 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento 20BC presentó el valor más alto, registrando 354,90 cm, seguido por el testigo con 333,22 cm y el tratamiento 100BC con 315,00 cm. Además, estas diferencias entre las medias también se reflejaron en los valores extremos. El tratamiento 20BC mostró los valores extremos más altos y bajos, con 396,00 cm y 282,00 cm respectivamente, mientras que el testigo presentó valores de 383,00 cm y 292,00 cm y el tratamiento 100BC tuvo valores de 359,00 cm y 268,00 cm respectivamente. En el ensayo realizado, la altura de las plantas superó a los resultados obtenidos por Tenesaca-Martínez et al. (2019) y Martínez & Cayón Salinas (2011), que utilizaron fertilizantes químicos en igual cantidad. Los resultados de Liu et al. (2019), el biocarbon de banano obtenido a una temperatura entre 350 a 400 °C contiene una cantidad significativa de nutrientes como Mg, P, K y Ca, los cuales pueden estar disponibles si se activan con SiO<sub>2</sub>, compost o K<sub>2</sub>O. Al aplicar el biocarbon al suelo que previamente se fertilizó con 100 kg ha<sup>-1</sup> KNO<sub>3</sub> +50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, la adición de biocarbón al suelo puede aumentar en gran medida la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo (Toková et al., 2020).

**Tabla 2**

Análisis de Varianza y prueba Duncan al 5% de significancia, para la variable altura de planta

Estadísticos	100BC	20BC	Testigo
Mínimo	268,00	281,00	292,00
Media (±)	315,00 ±30,63 b	354,90 ±38,70 a	333,22 ±29,96 ab
Máximo	359,00	396,00	383,00
Grados de Libertad (entre grupos)	2		
Grados de Libertad (dentro del grupo)	27		
Valor F	3,56		
Sig. 0,05	0,04		

Valores con una misma letra en cada fila no difieren estadísticamente según prueba de diferencia mínima significativa al 5%.

Los resultados del ANOVA y la prueba de Duncan para la variable de circunferencia del pseudotallo se presentan en la Tabla 3. Los valores obtenidos revelaron diferencias significativas entre los tratamientos y el grupo de control. La circunferencia del pseudotallo osciló entre 46 cm a 51 cm en el grupo de control y de 47 cm a 53 cm en los tratamientos con biocarbon y SiO<sub>2</sub>. La circunferencia media más alta se registró en el tratamiento 20BC con 50,43 cm y en el tratamiento 100BC con 49,90 cm, mientras que el testigo alcanzó los 48,15 cm. Los valores de circunferencia también fueron superiores a los obtenidos por Barrenzueta-Unda et al. (2022) y Rocafuerte-Vélez et al. (2022), que trabajaron con 50 g de biocarbon

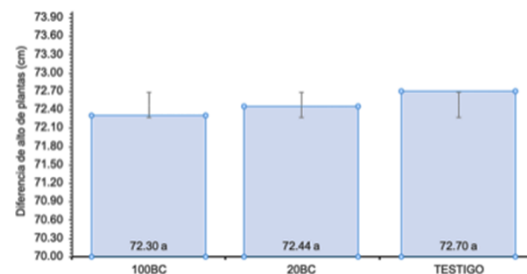
de banano y 100 de SiO<sub>2</sub>; pero menor en comparación con el ensayo de Bernal-Monterrosa & Cabrales-Herrera (2022), que aplicaron 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O y 100 g de micorriza. Martínez & Cayón Salinas (2011), indican que el crecimiento de la planta cuando sobre pasa los 160 cm es rápido y se produce una gran movilización de nutriente hacia las hojas, proceso que se detiene en la floración entre 116 a 152 días.

**Tabla 3**

Análisis de Varianza y prueba Duncan al 5% de significancia, para circunferencia del pseudotallo

Estadísticos	100BC	20BC	Testigo
Mínimo	47,00	48,00	46,00
Media (±)	49,90 ±2,33 ab	50,43 ±1,70 a	48,15 ±1,97 b
Máximo	53,00	53,00	51,00
Grados de Libertad (entre grupos)	2		
Grados de Libertad (dentro del grupo)	27		
Valor F	3,49		
Sig. 0,05	0,04		

La figura 2 presenta la diferencia en la altura de las plantas al final del ensayo en comparación con la altura al inicio del mismo, para la cual se realizó la prueba de Duncan. En los resultados obtenidos, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el grupo de control. Los tres promedios registrados oscilaron entre 72,30 cm, correspondiente al tratamiento de 100BC, y 72,70 cm en el grupo de control. Esta falta de diferencia significativa puede deberse a varios factores, como la variabilidad natural en el crecimiento de las plantas y la posible presencia de factores externos que afecten el rendimiento de todos los tratamientos de manera similar.



**Figura 2.** Prueba Duncan para la diferencia del alto de planta.

En la Figura 2, se presenta la prueba de Duncan, la cual analizó la diferencia en la medición de la circunferencia del pseudotallo en las plantas de banano sometidas a distintos tratamientos. En este análisis, se encontró una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos



20BC y 100BC, con valores de circunferencia de 30,67 cm y 30,60 cm, respectivamente, en comparación con el tratamiento control, que presentó el valor más bajo de 28,40 cm. Para comprender mejor por qué el tratamiento con biocarbón resultó en pseudotallos más robustos, es crucial considerar el proceso de engrosamiento del pseudotallo en el ciclo de desarrollo de la planta de banano. Esta etapa ocurre antes de la floración y es esencial, ya que tanto el pseudotallo como el cormo almacenan nutrientes que posteriormente se transfieren al fruto y, finalmente, a la siguiente generación de plantas sucesoras.

El biocarbón tiene propiedades que mejoran la retención de nutrientes en el suelo. Esto se debe a su porosidad y capacidad catiónica, lo que significa que puede retener y liberar nutrientes de manera más efectiva para las plantas (Bilias et al., 2023). Esto podría explicar por qué las plantas tratadas con biocarbón tienen pseudotallos más grandes, ya que pueden aprovechar de manera más eficiente los nutrientes disponibles en el suelo. Además, Karim et al. (2022) han sugerido que el biocarbón puede transformar los nutrientes de la biomasa residual en minerales de kalicinita (KHCO<sub>3</sub>) solubles en agua. Estos minerales solubles en agua son más fácilmente absorbibles por las raíces de las plantas, lo que podría contribuir a un mejor desarrollo de los pseudotallos y, en última instancia, al crecimiento general de la planta de banano.

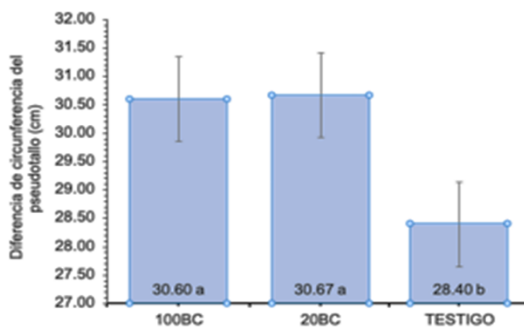


Figura 3. Prueba Duncan para la diferencia de la circunferencia del pseudotallo.

En los resultados presentados, se observa que cuando la altura de las plantas es mayor, también lo es la circunferencia del pseudotallo. Según Segura et al. (2015) y Vargas et al. (2013), la altura de la planta y la circunferencia del pseudotallo pueden verse afectadas por un desequilibrio nutricional, así como por patógenos que atacan el sistema radicular o el área foliar. Por lo tanto, es importante tener en cuenta la nutrición de las plantas, al utilizar biocarbon de banano como fertilizante pueden que el contenido de K, P y Ca elementos esenciales para el desarrollo de la planta estén disponible. Estudios han demostrado que la adición de biocarbon a un suelo tratado con silicio puede mejorar la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiológica del suelo (Liu et al., 2019; Toková et al., 2020).

En la Tabla 4 se presenta el análisis inferencial del peso de los racimos de banano cosechados al finalizar el ensayo. Se encontraron diferencias

significativas entre los tratamientos y el control. El mayor valor correspondió al tratamiento 100BC con un peso de 36,65 kg, seguido de 20BC con 35,50 kg y el control con el valor más bajo de 30,00 kg. En comparación, los valores extremos del control variaron de 26,00 kg a 30,00 kg, mientras que los tratamientos con biocarbon y SiO<sub>2</sub> oscilaron entre 34,00 y 39,00 kg en 100BC y entre 33,50 y 37,00 kg en 20BC. los resultados del ensayo superaron a los obtenidos por Barrenzueta-Unda et al. (2022), pero fueron inferiores a los registros de Quevedo-Guerrero et al. (2019), Tenesaca-Martínez et al. (2019) y Galecio-Julca et al. (2020). Lo que sugiere que la combinación de biocarbon de banano con otros tratamientos como SiO<sub>2</sub> y los fertilizantes químicos puede tener un efecto positivo en el peso de los racimos. Galecio-Julca et al., (2020) indica también que el compost y vermicompost reducen los rangos de variación del pH del suelo, así como el biocarbon y esto produce un efecto tampón que aumenta la disponibilidad de P en el suelo, macroelemento que está relacionado con la formación del racimo. Sin embargo, algunos investigadores mostraron una disminución de la disponibilidad de P tras la adición de biocarbón, encontrando esta limitación en las condiciones del suelo alcalino sódicos (El Namas, 2020; Toková et al., 2020). En este caso los suelos tienen un rango de pH ácido y una conductividad eléctrica baja, esto facilitaría la absorción del P y también del K.

Pero el principal elemento que incide en el peso del racimo es el potasio que desempeña un papel importante en el aumento del rendimiento de los cultivos. Pero para que esta disponibilidad se incremente es necesario que el suelo este en capacidad de campo, potenciando esta disponibilidad el biocarbón (El Namas, 2020). En la finca donde se realizó el ensayo el riego fue constante y siempre el suelo se encontró en condiciones de capacidad de campo.

Por otra parte, varios estudios han demostrado que altas dosis de biocarbon de banano pueden tener efectos negativos en el crecimiento de las plantas debido a su alcalinidad que tiene su efecto en la disponibilidad de nutrientes (Barrera et al., 2017; Medina et al., 2020). En particular a dosis superiores a 150 g de biocarbon por planta en bananos, lo que puede afectar la disponibilidad de nutrientes como el N (Medina et al., 2020). Las dosis mayores a 200 g de biocarbon por planta están recomendadas para la remediación de suelos contaminados por metales pesados como el cadmio (Novara et al., 2018; Huang et al., 2022).

Tabla 4

Análisis de Varianza y prueba Duncan al 5% de significancia, para el peso del racimo

Estadísticos	100BC	20BC	Testigo
Mínimo	34,00	33,50	26,00
Media (±)	36,65 ±1,84 a	35,50 ±1,15 a	30,00 ±1,88 b
Máximo	39,00	37,00	32,50
Grados de Libertad (entre grupos)	2		
Grados de Libertad (dentro del grupo)	27		
Valor F	45,77		
Sig. 0,05	0,00		

## CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que la aplicación de biocarbon y SiO<sub>2</sub> en los tratamientos 20BC y 100BC aumentó significativamente la altura de la planta y la circunferencia del pseudotallo, en comparación con el grupo de control. Además, el tratamiento 100BC mostró el mayor peso del racimo de banano. Los tratamientos de biocarbón más SiO<sub>2</sub> y fertilizantes incrementaron el crecimiento y desarrollo de las plantas de banano con respecto al testigo. Sin embargo, también es importante tener en cuenta que hay varios factores que pueden

influir en el crecimiento y rendimiento de las plantas de banano, como las condiciones edáficas y el clima. Se recomienda estudiar la variabilidad climática y las características específicas del suelo, así como considerar la duración a largo plazo de los efectos observados. Se recomiendan estudios adicionales que incluyan las variables climáticas y las propiedades del suelo, buscando confirmar los resultados del presente estudio y evaluar la efectividad de la aplicación de biocarbon y SiO<sub>2</sub> en el banano bajo diferentes condiciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrera, J. C., Casierra-Posada, F., García-Santos, G., & Restrepo-Díaz, H. (2017). Respuesta del plátano (Musa AAB Simmonds) a la aplicación de biocarbón de banano en un oxisol del piedemonte llanero. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 87-97.
- Barrenzueta-Unda, S., Condoy-Gorotiza, A., & Sanchez-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*. [https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html\\_v13n3/art003.html](https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html_v13n3/art003.html)
- Bernal-Monterrosa, M. Á., & Cabrales-Herrera, E. M. (2022). Respuesta del banano clon Valery en alta densidad a la inoculación con micorrizas y fósforo en Apartadó - Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(2), 1-9. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1659>
- Bilias, F., Kalderis, D., Richardson, C., Barbayannis, N., & Gasparatos, D. (2023). Biochar application as a soil potassium management strategy: A review. *The Science of the Total Environment*, 858, 159782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159782>
- Domingues, R. R., Trugilho, P. F., Silva, C. A., Melo, I. C. N. A. de, Melo, L. C. A., Magriotis, Z. M., & Sánchez-Monedero, M. A. (2017). Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. *PLoS One*, 12(5), e0176884. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176884>
- El Namas, A. E. (2020). Effect of deficit irrigation and biochar application on growth, yield components, water use efficiency and water productivity of banana (Musa sapientum) grown in sandy soil under drip irrigation. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 11(6), 163-175. <https://doi.org/10.21608/jssae.2020.111737>
- Galecio-Julca, M., León-Huamán, K. L., & Aguilar-Ancota, R. (2020). Efecto de fuentes orgánicas y microorganismos eficientes en el rendimiento del cultivo de banano orgánico (Musa spp. L.). *Manglar*, 17(4), 301-306. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.045>
- Gnu. (2017). QGIS (3.2.1 Bonn) [Computer software]. GNU. <https://qgis.org/es/site/>
- Guzman-Alvarez, J. A., González-Zuñiga, M., Sandoval Fernandez, J. A., & Calvo-Alvarado, J. C. (2022). Uso de sensores remotos en la agricultura: aplicaciones en el cultivo del banano. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 482-497. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48279>
- Karim, A. A., Kumar, M., Singh, E., Kumar, A., Kumar, S., Ray, A., & Dhal, N. K. (2022). Enrichment of primary macronutrients in biochar for sustainable agriculture: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(9), 1449-1490. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1859271>
- Huang, L., Cheng, S., Liu, H., Zhao, Z., Wei, S., & Sun, S. (2022). Effects of nitrogen reduction combined with organic fertilizer on growth and nitrogen fate in bananas at seedling stage. *Environmental Research*, 214, 113826. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113826>
- Liu, S., Li, J., Xu, S., Wang, M., Zhang, Y., & Xue, X. (2019). A modified method for enhancing adsorption capability of banana pseudostem biochar towards methylene blue at low temperature. *Bioresour. Technology*, 282, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.092>
- Martínez Acosta, A. M., & Cayón Salinas, D. (2011). Dynamics of Growth and Development of Banana (Musa AAA Simmonds cvs. Gran Enano and Valery). *Acta Agronómica*, 62, 2.
- Medina, D. F., Torres, G. A., & González, L. M. (2020). Efecto del biocarbón de banano y gallinaza en la nutrición, crecimiento y producción del banano en la región Caribe colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(2), 324-337.
- Novara, A., Minacapilli, M., Santoro, A., Rodrigo-comino, J., & Carrubba, A. (2018). Real cover crops contribution to soil organic carbon sequestration in sloping vineyard. *The Science of the Total Environment*, 652. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.247>
- Pan, S.-Y., Dong, C.-D., Su, J.-F., Wang, P.-Y., Chen, C.-W., Chang, J.-S., Kim, H., Huang, C.-P., & Hung, C.-M. (2021). The role of biochar in regulating the carbon, phosphorus, and nitrogen cycles exemplified by soil systems. *Sustainability: Science Practice and Policy*, 13(10), 5612.
- 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 racimo. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 190-197.
- Ratnadass, A., Llandres, A. L., Goebel, F.-R., Hussion, O., Jean, J., Napoli, A., Sester, M., & Joseph, S. (2024). Potential of silicon-rich biochar (Sichar) amendment to control crop pests and pathogens in agroecosystems: A review. *The Science of the Total Environment*, 910, 168545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168545>
- Rocafuerte-Vélez, D. A., Barrenzueta-Unda, S., & Jaramillo-Aguilar, E. (2022). Enmiendas edáficas de biocarbones y SiO<sub>2</sub> en plantas de banano con manejo de agricultura orgánica. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5(3), 113-123.
- Rodríguez, C., Cayón, G., & Mira, J. J. (2006). Influencia del pseudotallo de la planta madre cosechada sobre el crecimiento y producción del hijo de sucesión en banano (Musa AAA Simmonds). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 274-279.
- Roibás, L., Elbehri, A., & Hospido, A. (2016). Carbon footprint along the Ecuadorian banana supply chain: methodological improvements and calculation tool. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2441-2451. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.074>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.028>
- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P., Boateng, A. A., Lima, I. M., Lamb, M. C., McAloon, A. J., Lentz, R. D., & Nichols, K. A. (2012). Biochar: A Synthesis of Its Agronomic Impact beyond Carbon Sequestration. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 973. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0069>
- Tan, D., Mei, C., Yang, L., Chen, J., Rasul, F., & Cai, K. (2024). Si-enriched biochars improved soil properties, reduced Cd bioavailability while enhanced Cd translocation to grains of rice. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(8), 12194-12206. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-31935-9>
- Toková, L., Igaz, D., Horák, J., & Aydin, E. (2020). Effect of Biochar Application and Re-Application on Soil Bulk Density, Porosity, Saturated Hydraulic Conductivity, Water Content and Soil Water Availability in a Silty Loam Haplic Luvisol. *Agronomy*, 10(7), 1005. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071005>

- 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.
- Vargas, A., Guillén, C., & Arce, R. (2013). Efecto del manejo del pseudotallo de banano (*Musa AAA*) a la cosecha sobre la planta sucesora. *Agronomía*, 21(2), 19–28.
- Vidya, G., Sakthivel, P., & Alice, R. P. (2020). Bioconversion of banana waste (Pseudostem and leaves) and mango leaf litter into vermicompost by *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia foetida*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(4), 1529-1534
- 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. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1793183>
- Zhang, J., Li, B., Zhang, J., Christie, P., & Li, X. (2020). Organic fertilizer application and Mg fertilizer promote banana yield and quality in an Udic Ferralsol. *PLoS One*, 15(3), e0230593. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230593>