

Efecto del biocarbón en el desarrollo de las plantas de banano (*Musa AAA*) en fincas a partir de un manejo orgánico y convencional

*Effect of biochar on the development of banana plants (*Musa AAA*) in farms with organic and conventional agriculture management*

Salomón Barrezueta-Unda¹, Alexander Condoy Gorotiza², Stalin Sanchez Pilcorema³

Resumen

El interés por el uso del biocarbón en los suelos bananeros ha motivado esta investigación. El objetivo es comparar los efectos de un biocarbón obtenido de la mazorca de cacao en el desarrollo del banano.

El trabajo se desarrolló en dos fincas: una basada en un modelo de agricultura orgánica (FO), y otra, en un modelo convencional (FC). Las dosis por tratamiento en cada finca se conformaron de 10 g (T1), 30 g (T2) y 50 g (T3) de biocarbón + biofermento con *Trichoderma spp.* A esta mezcla se agregó 100 g de SiO₂ (FO) y 100 g de urea (FC). Todos los tratamientos fueron aplicados al suelo frente al hijo. El mayor valor de altura de la planta fue de 217.8 cm (FO, T2) y 266.7 (FC, T3). En grosor del pseudotallo, las medias más altas fueron 41.1 cm (FO, T1) y 52.1 cm (FC, T3), registros muy superiores con respecto al control. En peso de racimo y número de manos se obtuvo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en ambas fincas. Los resultados revelaron que los tratamientos tienen un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas de banano en comparación con el control en las dos fincas.

Palabras clave

Biocarbón, fertilizantes, pirólisis, *Trichoderma spp.*

Abstract

The use of biochar amendments in banana soils has inspired research with the aim of comparing the effects of a biochar obtained from cocoa pods on banana development. The work was carried out on two farms, one under an organic agriculture model (FO) and the other conventional (FC). The doses per treatment in each farm consisted of 10 g (T1), 30 g (T2) and 50 g (T3) of biochar + bioferment with *Trichoderma spp.*; 100 g of SiO₂ (FO) and 100 g of urea (FC) were added to this mixture. All treatments were applied to the soil in front of the son. The highest values for plant height were 217.8 cm (FO, T2) and 266.7 cm (FC, T3), in pseudostem thickness the highest means were 41.1 cm (FO, T1) and 52.1 cm (FC, T3), much higher than the control. In bunch weight and number of hands, significant differences ($p \leq 0.05$) were obtained in both farms. The results revealed that the treatments had a positive effect on the growth of banana plants compared to the control on both farms.

Keywords

Biochar; fertilizers; pyrolysis; *Trichoderma spp.*

1 Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Machala, Ecuador. [sabarrezueta@utmachala.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-4147-9284>].

2 Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Machala, Ecuador. [aacondoy_est@utmachala.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0001-6432-7385>].

3 Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Machala, Ecuador. [sesanchezp_est@utmachala.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-2171-5008>].

1. Introducción

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo desempeñan un papel importante en los procesos y las condiciones de crecimiento de las plantas, y constituyen el soporte fundamental de la producción agrícola (Ferry et al., 2022). No obstante, 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 destaca la pérdida de la fertilidad del suelo, la cual se refleja en el bajo rendimiento de la producción agrícola, especialmente en plantas de alta demanda nutricional como el banano (*Musa AAA*) (Abagale et al., 2019).

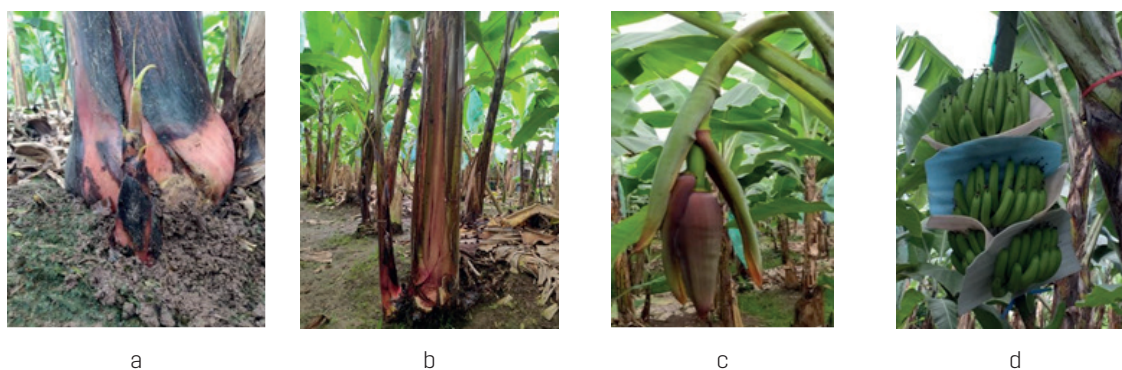
El banano es una planta herbácea climatérica que se cosecha por una sola ocasión y, por tanto, demanda de una gran cantidad de nutrientes por hectárea, lo cual se refleja en la extracción de compuestos en la fruta de 400, 125 y 15 kg/ha/año de potasio (K), nitrógeno (N) y fósforo (P) respectivamente (Villaseñor, Prado et al., 2020). Para devolver estos nutrientes, se debe tener en cuenta las tres etapas fenológicas de la planta (tabla 1):

1. La fase infantil, donde aparecen los hijuelos a los lados de la planta madre (figura 1a).
2. La fase juvenil, que se cuenta a partir de la hoja F10 (primera hoja funcional) y continúa hasta llegar a la hoja Fm (inicio de la autonomía de la planta (figura 1b).
3. La fase reproductiva que inicia con la brotación de la flora (figura 1c) y posterior llenado del fruto (figura 1d) que al cabo de entre 11 a 14 semanas se cosecha (Segura et al., 2015).

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

Fase	Fase infantil	Fase juvenil		Fase reproductiva		
Madre	y	F10	Fm	parición	llenado	cosecha
Días acumulados	50-100	150	200	300	350	400
Promedio fase (días)	104	91	116	132	77	98
Promedio altura de la planta (cm)	135.5	237.12	250	300	---	---
RETORNO (hijo)			y	F10	Fm	parición
Promedio fase (días)			104	91	116	132

Figura 1. Fases vegetativas



Nota: Figura a: fase infantil; figura b: fase juvenil; figura c: fase de reproducción brote de inflorescencia; figura d: fase de reproducción y llenado del fruto.

Para el Ecuador, el banano es el cultivo de mayor importancia económica. La superficie cultivada se estima en aproximadamente en 196 673 ha (Vásquez-Castillo et al., 2019). Si bien una gran parte del área bananera 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 (Din et al. 2018; Villaseñor, Noblecilla-Romero et al., 2020). Sin embargo, el uso continuo de fertilizantes sintéticos para suplir la demanda nutricional de las plantas ocasiona su degradación, por lo que es urgente aplicar enmiendas orgánicas para incrementar la retención hídrica, mejorar la disponibilidad de nutrientes e incrementar la actividad biológica del suelo (Villaseñor, Prado et al., 2020).

La aplicación de abonos orgánicos, como el estiércol de animales, era una práctica agrícola tradicional que permitió una menor degradación del suelo antes de utilizar los fertilizantes sintéticos empleados para lograr una alta producción en los cultivos (Paungfoo-Lonhienne et al., 2019) No obstante, en las últimas décadas, el interés por los abonos orgánicos en el crecimiento de las plantas ha recibido una renovada atención (Zhang et al., 2020). Esto se debe a que los abonos orgánicos no solo suministran nutrientes, sino que también tienen efectos positivos en las propiedades del suelo gracias a su contenido de materia orgánica, que es un factor clave para los procesos biológicos y el ciclo de los nutrientes entre el suelo y las plantas (Paungfoo-Lonhienne et al., 2019). Otros tipos de abonos como el humus de lombrices y los desechos vegetales compostados también mejoran las propiedades del suelo, así como (Mago et al., 2021) los biofermentos en combinación con microorganismos beneficiosos como el hongo *Trichoderma spp.* (González-Marquetti et al., 2020).

Un abono orgánico que mejora las condiciones de los suelos bananeros es el biocarbón, también denominado carbón vegetal o *biochar*, que se produce mediante la degradación termoquímica de la biomasa, en un entorno de oxígeno limitado, a través del proceso de pirólisis (Pradhan et al., 2020). El biocarbón es quizá la forma más recalcitrante de materia orgánica que se puede agregar al suelo. Por su naturaleza altamente porosa y elevada superficie específica, es un excelente medio para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Cornelissen et al., 2018). Algunos autores recomiendan para mejorar el efecto del biocarbón combinar con biofermentos, también conocidos como bioles, a los que se agrega *Trichoderma spp.*, para generar una simbiosis en beneficio del suelo y de las plantas (González-Marquetti et al., 2020).

El creciente interés por estudiar enmiendas que mejoren los suelos bananeros, sumado a la búsqueda de alternativas para incrementar la producción, ha motivado este estudio. El objetivo es comparar los efectos de un biocarbón obtenido de la mazorca de cacao, en combinación de un biofermento + *Trichoderma spp.*, en el crecimiento vegetativo de plantas de banano en dos fincas (ubicadas en la provincia de El Oro, Ecuador) con distintos manejos.

2. Metodología

2.1 Descripción de la zona de estudio

El estudio se realizó de diciembre de 2019 a julio de 2020 en dos plantaciones de banano cultivadas con el clon Gran Cavendish (*Musa AAA*), en la provincia de El Oro, Ecuador. La primera finca seleccionada se ubica en El Porvenir, cantón El Guabo, entre las siguientes coordenadas geográ-

ficas: 3°14'20"S 79°49'45"O. La finca cuenta con un manejo de agricultura orgánica desde 2018 y se la designó como finca orgánica (FO).

La segunda finca está ubicada en Lautaro Sánchez, cantón Arenillas, entre las siguientes coordenadas geográficas: latitud: 3°33'0" S, longitud: 80°3'36" O a 15 msnm. Esta plantación fue asignada como finca convencional (FC).

En los sitios donde se encuentran las fincas, los suelos son de origen aluvial, orden alfisol y la clase textural predominante es francoarenosa. El clima se clasifica como megatérmico seco a semihúmedo. Presenta una estación seca (de mayo a diciembre) y una húmeda, ambas bien definidas. La mayor precipitación media mensual 550 mm 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 (Luna-Romero et al., 2018).

2.2 Obtención del biocarbón y cálculo de las dosis

Para obtener biocarbón, se recolectó la cáscara de la mazorca de cacao recién cosechada (biomasa). La biomasa fue colocada sobre un plástico negro y se secó en un lugar abierto y despejado por varios días. Luego, la biomasa seca fue depositada en un horno de doble fondo a una temperatura de incineración entre 300 a 350 °C durante 2 horas. A continuación, se la dejó enfriar por 24 horas para triturar varias veces en un molino casero hasta obtener un polvo. Finalmente, el polvo pasó por un tamiz de 2 mm (Marín Armijos et al., 2018).

Para conocer el nivel de alcalinidad del producto obtenido, se tomó 10 g de biocarbón y se midió en agua (relación 1:2.5), y se leyó en un conductímetro (Hanna, modelo Hi5222-1, Rumania). Para determinar el porcentaje de carbón obtenido de los residuos, se dividió el peso del carbón vegetal y el peso de la biomasa seca, y se multiplicó por 100 (Ecuación 1) (Ekpete et al., 2017).

$$\% \text{ Carbón} = (\text{Peso del carbón vegetal} / \text{Peso de la biomasa}) * 100 \quad (1)$$

Al no encontrar una referencia de dosis óptima de biocarbón obtenido de mazorca de cacao para utilizarla en suelos francoarenosos para banano, se tomó como referencia la ecuación (2) recomendada 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 cm⁻³ (1 000 kg m⁻³).

$$\text{Gramos de biocarbón/planta} = [\text{DB/Ps}] * 1\,600 \quad (2)$$

Donde:

DB es la dosis de biocarbón en kg;

Ps es la masa del suelo en kg a 20 cm y Da 1.0 g cm⁻³ y

1 600 es el número de plantas por hectárea.

El cálculo se basó en tres dosis de 12 000 kg ha⁻¹, 37 000 kg ha⁻¹ y 62 000 kg ha⁻¹ de biocarbón de cacao para una población de 1 600 plantas/ha⁻¹ (tabla 2):

Tabla 2. Cálculo de dosis (g) de biocarbón de cacao por planta

Dosis (kg ha ⁻¹)	Calculo de dosis (g) planta ⁻¹)	Resultado (g)
12 000	[(12 000/2 000 000)] *1 600	9.6=10
36 000	[(37 000/2 000 000)] *1 600	29.6= 30
62 000	[(62 000/2 000 000)] *1 600	49.6= 50

2.3 Preparación del biofermento + *Trichoderma spp.*

En un tanque de 200 L 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. Al final, se incorporaron 2 botellas de 120 g de arroz que contienen *Trichoderma spp.* Luego se tapó y se dejó fermentar durante 12 días. La cepa de *Trichoderma spp.* Se obtuvo de una suspensión comercial de biofertilizante orgánico de *Trichoderma*, a una concentración de 10×10 UFC (unidades formadoras de colonias).

2.4 Diseño del experimento

Para este estudio, se delimitó 2 ha de cultivo de banano en cada finca, donde se dividió en cuatro partes iguales (4 parcelas para el estudio). Se asignó tres tratamientos y un tratamiento control. En cada parcela se seleccionó diez plantas (unidades experimentales) en fase juvenil de 1.1 a 1.3 m de altura, las cuales recibieron los tratamientos. En el caso de la FO, se complementó con SiO_2 (dióxido de silicio) y en el de la FC, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (urea). Los tratamientos para las fincas bananeras constan en la tabla 3:

Tabla 3. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Biocarbón (g)	Biofermento + <i>Trichoderma spp.</i> (ml)	Fertilizante SiO_2 (g)	Fertilizante $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (g)
Fincas			FO ¹	FC ²
Tratamiento control (T0)	-	100	100	100
Tratamiento 1 (T1)	10	100	100	100
Tratamiento 2 (T2)	20	100	100	100
Tratamiento 3 (T3)	30	100	100	100

Nota: FO¹= finca orgánica; FC²= finca convencional.

Las variables que se midieron fueron número de hojas, altura (cm) y grosor del pseudotallo (cm). Estos parámetros se midieron al inicio del ensayo, entre el 14 al 20 de diciembre del 2019, y al final, entre el 15 al 30 de agosto del 2020. Para la cosecha (del 05 al 15 de septiembre de 2020) se tomaron en cuenta la masa del racimo (kg) y el número de manos por racimo cosechado.

2.5 Aplicación de biocarbón, biofermento y fertilizante en los tratamientos

La frecuencia de aplicación fue cada 6 semanas en todas las parcelas divididas a 6 aplicaciones, esto quiere decir que el ensayo tuvo una duración de 36 semanas. La aplicación del biofermento + *Trichoderma spp.* fue al *drench* 10 cm delante de la planta de sucesión en la superficie del suelo, y el biocarbón + fertilizantes fueron edáficas a 20 cm delante del hijo formando una media luna.

2.6 Proceso estadístico

El trabajo corresponde a un experimento con observaciones antes y después de aplicar las dosis para cada tratamiento en cada finca. Los valores obtenidos por tratamiento fueron so-

metidos a un análisis estadístico descriptivo (media, desviación estándar, valores mínimos y máximos). Asimismo, se utilizó un ANOVA de una vía y de comparación de medias a través de la prueba Duncan al 5 % de significación, para determinar las diferencias estadísticas entre los tres tratamientos con biocarbón y el control. También se calculó la prueba de Duncan al 5 % de significancia para los valores de diferencia de altura, grosor del pseudotallo y número de hojas. Los valores obtenidos se tomaron por triplicado y se tabularon en una hoja de cálculo para introducirlos en el *software* estadístico SPSS (2013).

3. Resultados

Características químicas del biocarbón obtenido de la cáscara de cacao

En la tabla 4 se presenta un porcentaje de carbón del 37.59 % y valores extremos de 21.1 % a 45 %. La media del pH de 9.5 corresponde a un valor altamente alcalino, al igual que los valores extremos (pH 9.2-9.7).

Tabla 4. Porcentaje de carbón y valores de pH obtenido de la cáscara de cacao

Variable	Mínimo	Media (\pm)	Máximo
Carbón (%)	21.1	37.59 (\pm 18.93)	45
pH	9.2	9.5 (\pm 0.01)	9.7

Efecto del biocarbón en el crecimiento de las plantas

En la tabla 5 consta el análisis descriptivo y la prueba de Duncan al 5 % de significancia de la altura de las plantas tomadas tanto al inicio como al final del experimento.

En la FO no se obtuvo diferencia significativa ($p > 0.05$) en la observación inicial. La variación de los valores mínimos y máximos entre los tratamientos fue no tan amplia como el rango registrado en el T0 de 86 cm a 164 cm. La comparación numérica entre las medias indica una variación entre los tratamientos muy estrecha (133.3 cm a 139.0 cm), mientras que en el T0 la media inicial fue de 116.2 cm.

En la observación final, los tratamientos tampoco tuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$), con una variación de la medida entre 195.4 cm (T0) a 217.8 cm (T1). Los valores mínimos y máximos de los tratamientos en la FO (165 cm-255 cm) se mantuvieron sobre el rango del T0 (168 cm-250 cm).

En la FC tampoco se obtuvo diferencia significativa ($p > 0.05$) en la observación inicial. Los valores mínimos y máximos tuvieron un rango mayor con respecto al T0 (121 cm-187 cm) al comparar con los registros del T1 (110 cm-185 cm) y del T3 (120 cm-195 cm). El valor más alto de la media fue de 160.2 cm (T3), seguido de 147.5 cm (T1) y 147.8 cm (T2), y en el T0 de 144.8 cm. En la observación final, los tratamientos sí mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el T3 con el mayor valor de 266.7 cm, seguido del T2 (239.8 cm), el T1 (235.3 cm) y el T0 (217.5 cm). Los valores mínimos y máximos no se acortaron, por lo contrario, la variación se incrementó en el T3 (de 222 cm a 322 cm).

Tabla 5. Estadísticos descriptivos y prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) de altura de planta

Observaciones	FO			FC		
	Inicio	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
T1	92	135.9 (± 31.6) a	182	110	147.8 (± 25.7) a	185
T2	97	139.0 (± 23.6) a	169	116	147.5 (± 20.4) a	177
T3	107	133.3 (± 16.2) a	167	120	160.2 (± 24.6) a	195
T0	86	116.2 (± 24.2) a	164	121	144.8 (± 18.1) a	187
Final	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
T1	176	217.8 (± 24.9) a	255	206	235.3 (± 21.5) bc	267
T2	165	215.3 (± 27.8) a	245	211	239.8 (± 17.9) b	260
T3	170	207.8 (± 21.0) a	235	222	266.7 (± 28.7) a	322
T0	168	195.4 (25.2) a	250	198	217.5 (± 14.5) c	252

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

FO = finca orgánica; FC = finca convencional; T1 = tratamiento 1; T2 = tratamiento 2; T3 = tratamiento 3; T0 = control.

Efecto del biocarbón en el grosor del pseudotallo

Los valores obtenidos del efecto del biocarbón en el grosor del pseudotallo se presentan en la tabla 6.

En la FO, al iniciar el experimento, los tratamientos no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Los valores iniciales de mínimo (18 cm-17 cm) y máximos (24 cm-26 cm) de los tratamientos y del T0 fueron muy ajustados, y se presentaron de menor a mayor: 20.9 cm (T1), 21.2 cm (T3) y 21.6 cm (T2), mientras que 19.3 cm corresponden al T0. En la observación final se obtuvo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos y la parcela control. Los valores mínimos y máximos de los tratamientos se incrementaron al final del experimento en el orden de 40-43 cm y 47-51 cm, respectivamente, y donde el T0 obtuvo el menor rango 34-45 cm. Los incrementos en el grosor del pseudotallo fueron de 43.5 cm (T3), 44.2 cm (T2) y 45.1 cm (T1). La parcela control (T0) fue la de menor crecimiento del grosor del pseudotallo con 40.0 cm.

En la FC no se obtuvo diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos y la parcela control al inicio del experimento. Los valores mínimos fueron iguales entre los T2, T3 y T0, y la variación de los valores máximos fue de 28 cm (T0) a 33 cm (T3). El mayor registro de la media fue 26.5 cm (T1), seguido de 26.4 cm (T3), 24.8 cm (T2) y 24.0 cm (T0). Al final del experimento, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores más altos obtenidos en el T3 (52.1 cm) y el T1 (51.7 cm) frente al T2 (49.8 cm) y al T0 (45.5 cm). El valor mínimo del T1 se incrementó con respecto a la primera observación en el orden de 18 cm a 45 cm.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos y prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) del grosor del pseudotallo

Observaciones	FO			FC		
	Inicio	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
T1	18	20.9 (± 2.6) a	25	18	26.5 (± 4.1) a	31
T2	17	21.6 (± 2.8) a	26	20	24.8 (± 3.2) a	30
T3	18	21.2 (± 1.8) a	24	20	26.4 (± 4.4) a	33
T0	15	19.3 (± 3.3) a	25	20	24 (2.9) a	28

Final	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
T1	43	45.1 (± 2.4) a	51	45	51.7 (± 6.1) a	65
T2	42	44.2 (± 1.7) a	47	46	49.8 (± 3.6) ab	57
T3	40	43.5 (± 2.4) a	49	44	52.1 (± 7.0) a	69
T0	34	40 (± 3.3) b	45	39	45.5 (± 4.6) b	55

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

FO = finca orgánica; FC = finca Convencional; T1 = tratamiento 1; T2 = tratamiento 2; T3 = tratamiento 3; T0 = control.

Efecto del biocarbón en la emisión foliar

En la tabla 7 se presenta el número de hojas observadas al inicio y final del experimento para cada finca.

En la FO, en el análisis de varianza y en la prueba de Duncan, al inicio del trabajo, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). La emisión foliar al iniciar el trabajo fue más ajustada entre los tratamientos (5.6 a 5 hojas) y el T0 (5.4 hojas). El rango máximo fue entre 6 a 8 hojas. Al contrario de las anteriores mediciones de altura de planta, en esta variable al final del trabajo se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para los tratamientos y el control en la FO. Los rangos de mínimo y máximo de hojas en la FO a la cosecha fueron de 9 (T0) a 11 (T2) hojas y de 11 (T0) a 13 (T1 y T3) hojas, respectivamente.

En la FC (tabla 7), al iniciar el trabajo, los valores más altos de la media de los tratamientos y la parcela control fueron muy ajustados; es decir, la variación se ubicó entre 6.1 hojas a 6.4 hojas, mientras que el rango máximo fue entre 8-9 hojas. En las parcelas de la FC no se obtuvo diferencias significativas ($p > 0.05$) en el número de hojas en la cosecha, que varió entre 9.1 (T2 y T0) a 10.1 (T3) hojas. El valor máximo fue de 13 hojas a la cosecha registrado en T2 y en la parcela control.

Tabla 7. Estadística descriptiva y prueba de Duncan ($p \leq 0,05$) de número de hojas

Observaciones	FO			FC		
	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
Inicio						
T1	4	5 (± 1.6) a	7	5	6.3 (± 1.3) a	9
T2	5	5.6 (± 1.0) a	6	4	6.1 (± 1.3) a	8
T3	4	5.6 (± 0.5) a	7	5	6.4 (± 0.8) a	8
T0	3	5.4 (± 1.1) a	8	4	6.1 (± 1.3) a	8
Final						
T1	10	11.2 (± 0.8) ab	13	6	9.8 (± 1.9) a	10
T2	11	11.7 (± 0.5) a	12	9	9.1 (± 0.3) a	13
T3	10	11 (± 0.8) b	13	8	10.1 (± 1.4) a	10
T0	9	9.8 (± 0.6) c	11	8	9.1 (± 0.6) a	13

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

FO = finca orgánica; FC = finca convencional; T1 = tratamiento 1, T2 = tratamiento 2; T3 = tratamiento 3; T0 = control.

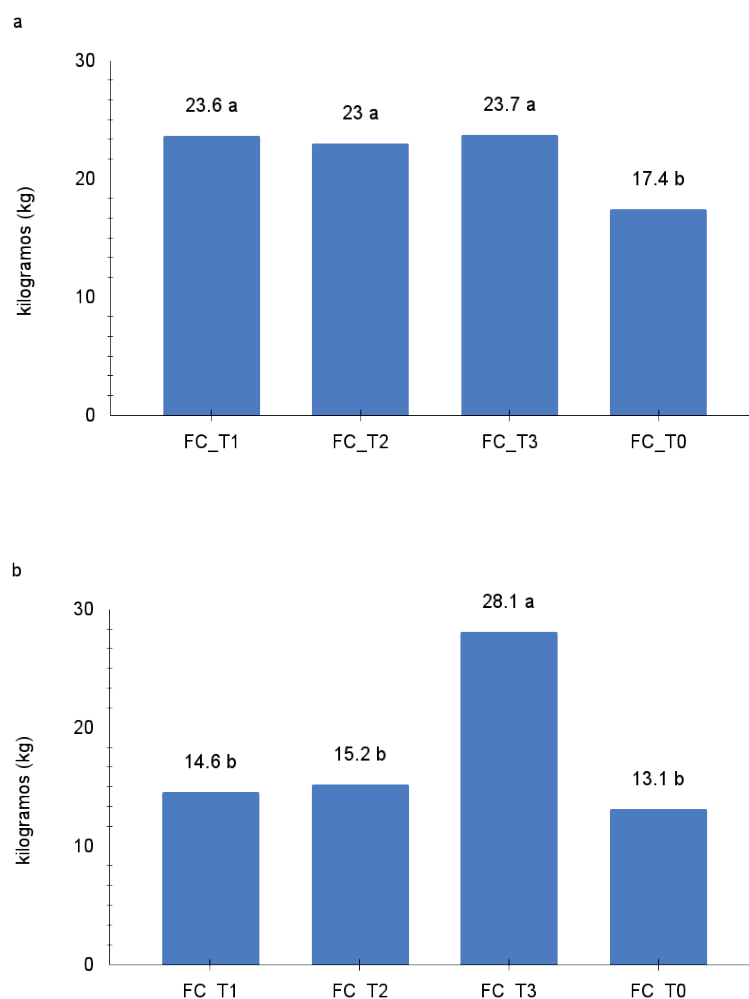
Efecto del biocarbón en la masa y el número de manos por racimos

En la figura 2 se muestra la masa del racimo cosechado de las plantas seleccionadas por cada tratamiento.

La prueba de Duncan indicó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la FO entre los tratamientos y el control, donde los pesos de mayor a menor fluctuaron de la siguiente manera: 23.7 kg (T3), 23.6 kg (T1) y 23.0 kg (T2) con respecto al control que alcanzó una media de 17.4 kg (figura 2a).

En la FC también se obtuvo diferencia significativa ($p \leq 0.05$), y la diferencia numérica fue muy superior a los valores de media obtenidos en la FO, como se aprecia en la figura 2b, donde el mayor valor en T3 (28.1 kg); mientras que los otros tratamientos y la parcela control variaron los pesos entre 15.2 kg (T2) y 13.1 kg (T0).

Figura 2. Peso de racimo cosechado

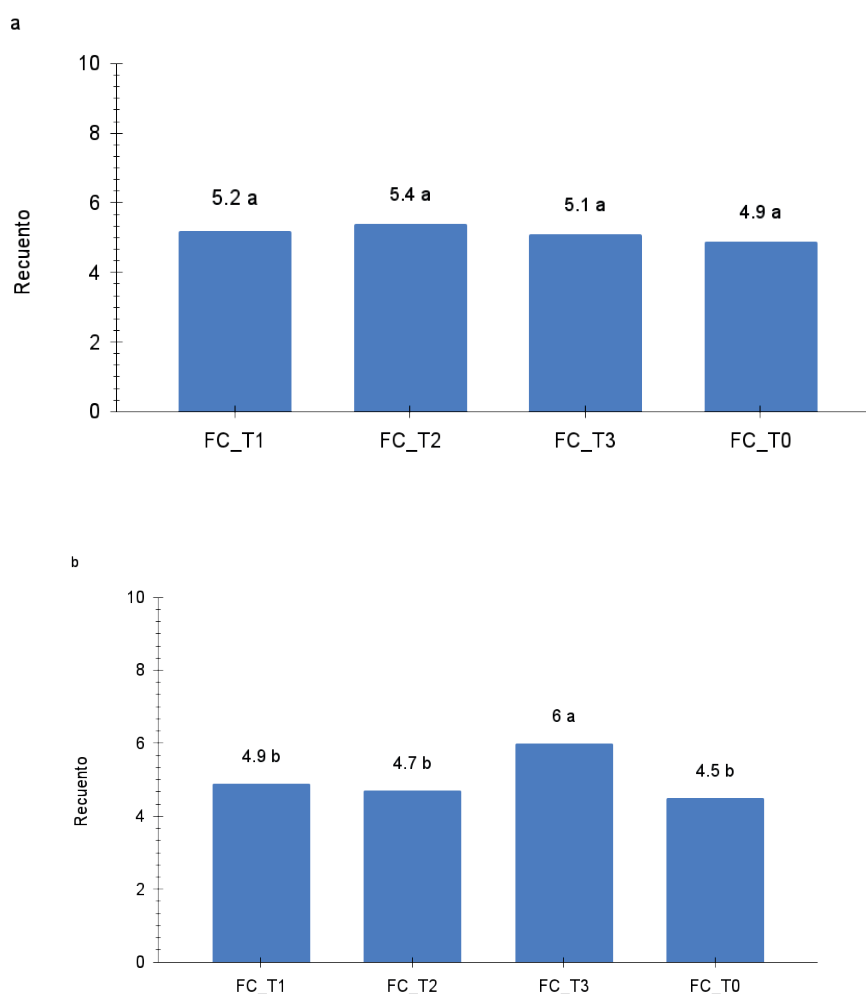


Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Figura a: finca orgánica; Figura b: finca convencional.

El promedio de manos por racimo cosechado en las dos fincas fue diferente, como se observa en la figura 3a y 3b. Con la prueba de Duncan solo se determinó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la FC, entre el T3 (6 manos) y el resto de tratamiento y la parcela control. Además, los valores obtenidos de las manos cosechadas por racimo en los tratamientos de la FO fueron muy homogéneos, con un rango entre 5.4 (T2) y 5.1 (T3). En ambas fincas, los valores del T0 fueron de 4.9 y 4.5 manos para la FO y la FC, respectivamente.

Figura 3. Número de manos racimos



Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Figura a: Finca orgánica; figura b: Finca convencional.

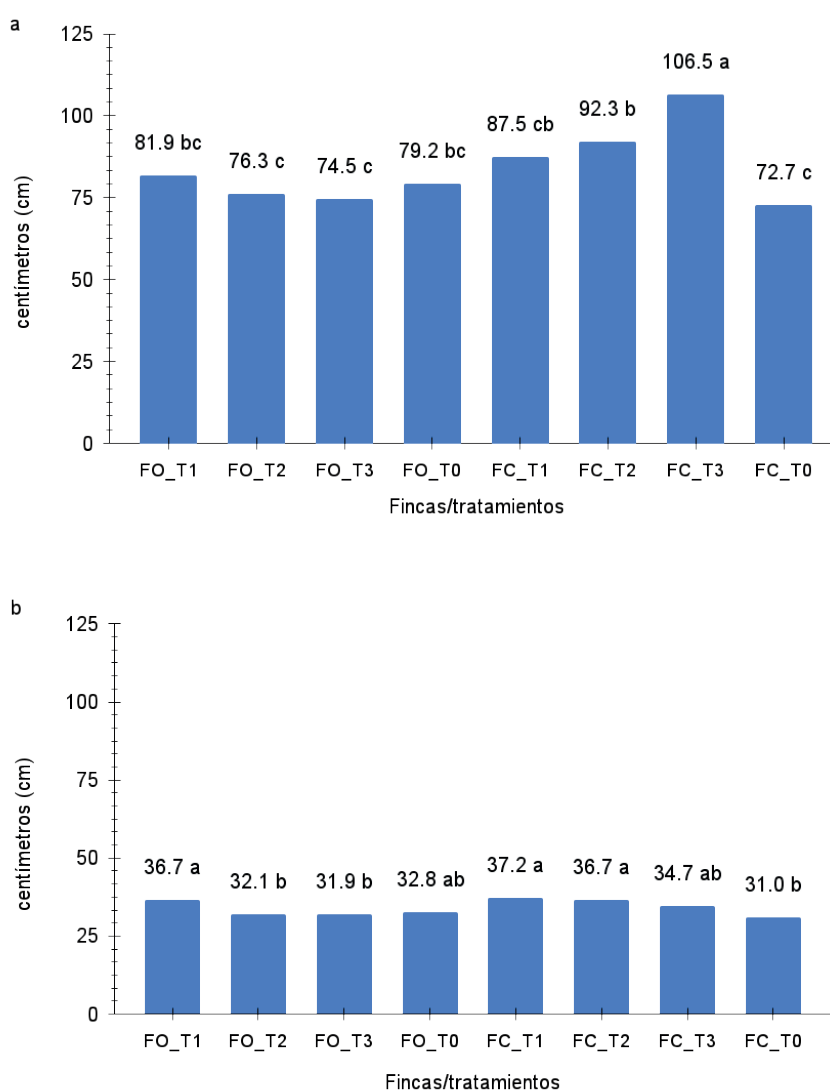
La comparación entre los tratamientos de los valores obtenidos por diferencia entre las observaciones inicial y final de altura de planta, grosor del pseudotallo y número de hojas se presentan en la figura 4.

En el crecimiento de las plantas se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) que forman varios subconjuntos (figura 4a). El mayor valor se registró en el T3 (106.5 cm), seguido del T2 y T3 con valores de 92.3 cm y 87.5 cm, respectivamente. Mientras que las diferencias en

altura en la FO de mayor a menor de los tratamientos fue de 81.9 cm (T1), 76.3 cm (T2) y 74.5 cm (T3), mientras que el tratamiento control en la FC obtuvo el registro más bajo (72.7 cm) en todo el trabajo.

En la figura 4b, los valores de grosor del pseudotallo fueron más homogéneos que las diferencias en las alturas de las plantas, pero sí se obtuvo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en esta variable. El valor más alto de grosor del pseudotallo se registró en la FC con 37.2 cm (T1), seguido de 36.7 cm que se obtuvo en el T1 de la FO y el T2 de la FC. El tercer valor más alto fue en 34.7 cm que corresponde a T3 registrado en FC. La parcela control en FC fue el valor más bajo, al obtener 31 cm de diferencia en el grosor del pseudotallo.

Figura 4. Comparación entre el primer y el último valor registrado



Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Figura a: altura de planta; figura b: grosor del pseudotallo.

4. Discusión

El biocarbón resultado de la pirólisis lenta por lo general tiene una pérdida de masa después del pirólisis del 60 al 80 %, porcentaje que está relacionado con la temperatura y el tiempo de quemado de la biomasa (Omulo et al., 2019); pero también los porcentajes de las lignocelulosas tienen relación con la cantidad de masa obtenida, siempre y cuando no se supere los 370 °C (Munongo et al. 2017). Tsai et al. (2018) indican que la cáscara de cacao contiene entre 24.2-35.0 % de celulosa y 14.6-26.4 % de lignina, y al incinerarse, entre 300-350 °C. Estos compuestos pueden influir en la temperatura y, a su vez, inciden en la pérdida de masa, similar a los resultados que obtuvieron Marín Armijos et al. (2018).

El biocarbón obtenido en la investigación fue extremadamente alcalino (>9.0). Este resultado es similar a los alcanzados en otras investigaciones de biomasa proveniente del cacao, así como también del banano y el maíz (Andrade-Alvarado, 2017; Marín Armijos et al., 2018; Tenesaca et al., 2019). Este efecto está explicado por la reducción de los ácidos carboxílicos y el aumento de los porcentajes de cationes alcalinos como el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) (Karim et al., 2017). Además, la adición del biofermento y de los fertilizantes, ambos de pH ácido, puede reducir la alcalinidad del biocarbón en el suelo, aunque la supervivencia de *Trichoderma spp* está limitada por la extrema alcalinidad y no tiene efecto en el suelo si no encuentra hongos fitopatógenos para activar sus mecanismos de parásito facultativo (Sánchez-Pilcorema et al., 2020).

El análisis de la altura de planta y circunferencia de pseudotallo muestran el mayor incremento con la presencia del biocarbón de cacao en el suelo, con respecto a los otros tratamientos en las dos fincas. En la FO se constató una tendencia de mayor altura de planta y de grosor del pseudotallo en los tratamientos T1 y T2, a pesar de no haberse presentado diferencias estadísticas de estas variables. Islam et al. (2019) en la medición de altura de planta tampoco determinaron diferencias significativas con la parcela control. Mientras que en la FC, el tratamiento con los registros más altos fue el T3, pero esta diferencia puede estar relacionada con el mayor fuste antes de iniciar el experimento. Asimismo, los rangos de altura de planta entre la fase juvenil y el inicio de la floración, en ambas fincas, están por debajo de los rangos reportados por Segura et al. (2015), que fluctúan entre 308-368 cm, pero en las bananeras con condiciones óptimas de manejo convencional. En este estudio los fertilizantes estuvieron limitados al Si₂O, en la FO, y urea, en la FC.

La tasa de emisión foliar estuvo acorde con los valores obtenidos en otras investigaciones en las que se aplicaron enmiendas de biocarbón en suelos bananeros (Azuelo-Gaona et al., 2020; Quevedo Guerrero et al., 2021). Los valores reportados en FO, al final del trabajo, fueron superiores a los de la FC. Este efecto sugiere que el Si₂O pudo ayudar a una mejor asimilación de nutrientes de la planta, los cuales se almacenan en el cormo, en su etapa de hijo, y que son tomados en la emisión foliar en su etapa juvenil (Martínez Acosta & Cayón, 2011; Panigrahi et al., 2021). Un factor importante es el manejo de la enfermedad sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), patógeno que afecta el área foliar y que fue más agresivo en la zona de Arenillas, donde se ubica la FC, lo que causó un menor número de hojas al final del trabajo.

Al tener menor número de hojas, el peso y el número de manos del racimo son afectados. Este efecto es consecuencia de un menor flujo de nutrientes que provienen principalmente de las hojas (Martínez-Acosta, 2011). En el caso de los tratamientos en la FC, donde se obtuvo menores valores de número de hojas, están estrechamente relacionados con las variables masa de racimo y número de manos, a excepción del T3 con dosis de 30 g de biocarbón que mostró

los valores más altos del trabajo (figura 3b; figura 4b). Este resultado puede estar relacionado con el mayor desarrollo de las plantas en el inicio del experimento, por tanto, también con tener un sistema radicular más desarrollado para asimilar los nutrientes (Segura et al., 2015) que estaban disponibles con el biocarbón.

Jitjamnong et al. (2020), Karim et al. (2017) y Liu et al. (2019) en sus estudios sobre la composición de biocarbón de cáscara de cacao reportan un elevado porcentaje de C (3.8-48.0 %), N (0.9-1.9 %), K (21.0-28.0 %), Mg (0.60-1.26 %). Así también, reportan un déficit en P y Ca, dos elementos fundamentales en el desarrollo del fruto; pero al comparar con las parcelas control, donde solo se aplicó un fertilizante, los valores fueron mayores. Esta sinergia también fue constatada por Azuero-Gaona et al. (2020) al aplicar 50 g de biocarbón + 50 g de K_2SO_4 y 10 g de SiO_2 .

Las plantas de banano cosechadas tienen un remanente de varios nutrientes almacenados en el pseudotallo que son asimilados por el hijo en su fase juvenil y reproductiva (Quevedo Guerrero et al., 2021). Los valores obtenidos de las diferencias entre las observaciones inicial y final de altura de las plantas y grosor del pseudotallo, a favor de la FC (figura 4), se pueden explicar por el manejo anterior de la finca, donde el exceso de fertilizantes químicos aplicados al suelo pudo no estar disponible por distintos factores para las plantas como bajo niveles de materia orgánica y el pH del suelo, y que al aplicar el biocarbón, se pudo mejorar su disponibilidad. Por el contrario, en la FO, la extracción de nutrientes se compensa con abonos orgánicos y su efecto es a largo plazo (Bass et al., 2016; Zhang et al., 2020).

5. Conclusiones y recomendaciones

La cáscara de la mazorca de cacao y la temperatura que se utilizó para obtener el biocarbón fueron las adecuadas. Los resultados revelaron que la aplicación del biocarbón de cáscara de cacao en combinación con el biofermento + *Trichoderma spp.* y fertilizantes tiene un efecto sobre el crecimiento vegetativo de las plantas de banano en comparación con el control en las dos fincas. Estos resultados indican que el biocarbón de la cáscara de la mazorca del cacao contiene los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo del banano.

En la FO, las dosis de 10 y 20 g de biocarbón fueron las que mejor desarrollo alcanzaron en cuanto a las variables altura de planta y grosor de pseudotallo, mientras que las emisiones foliares en esta finca fueron favorecidas por una menor incidencia de la enfermedad sigatoka negra.

En la FC, el T3 conformado por dosis de 30 g mostró el mejor desarrollo, pero su mayor fuste pudo incidir en las diferencias significativas entre los otros tratamientos, por tanto, se sugiere la dosis de 10 y 20 g de biocarbón.

En las parcelas donde se hizo la investigación es recomendable hacer un seguimiento a largo plazo para conocer los efectos negativos del biocarbón en cuanto al suelo y al crecimiento de las plantaciones de banano.

Referencias

- 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. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.5182>
- Andrade-Alvarado, K. (2017). Análisis sustentable de las fincas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) en Santa Rosa de Quives, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 16(2). <https://bit.ly/3x4Yq77>

- 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). <https://bit.ly/3qZ7Won>
- Bass, A. M., Bird, M. I., Kay, G., & Muirhead, B. (2016). Soil properties, greenhouse gas emissions and crop yield under compost, biochar and co-composted biochar in two tropical agronomic systems. *The Science of the Total Environment*, 550, 459–470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.143>
- Cornelissen, G., Jubaedah, Nurida, N. L., Hale, S. E., Martinsen, V., Silvani, L., & Mulder, J. (2018). Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. *The Science of the Total Environment*, 634, 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.380>
- Din, S. N. M., Sakimin, S. Z., Sijam, K., Ramlan, F., Baghdadi, A., Zakaria, M. A. T., Manickam, T., & Tan, J. (2018). Effect of biochar amendment on growth, nutritional properties and biochemical changes of banana (*Musa acuminata*) cv. berangan established in an ultisol soil at vegetative stage. *Journal of Tropical Plant Physiology*, 10(1), 23–35. <https://www.jtpp.org.my/issue/10>
- Ekpete, O. A., Marcus, A. C., & Osi, V. (2017). Preparation and characterization of activated carbon obtained from plantain (*Musa paradisiaca*) Fruit Stem. *Journal of Chemistry*, 1-38, artículo 8635615. <https://doi.org/10.1155/2017/8635615>
- 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, 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/974/1/012045>
- González-Marquetti, I., Rodríguez, M., Delgado-Oramas, B., & Schmidt, H. (2020). Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas. *Revista de Protección Vegetal*, 35(2), 1–17. <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1090/1606>
- Islam, M., Halder, M., Siddique, M. A. B., Razir, S. A. A., Sikder, S., & Joardar, J. C. (2019). Banana peel biochar as alternative source of potassium for plant productivity and sustainable agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(S1), 407–413. <http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/1090>
- Jitjamnong, J., Thunyaratchanon, C., Luengnaruemitchai, A., Kongrit, N., Kasetsoomboon, N., Sopajarn, A., Chuaykarn, N., & Khantikulanon, N. (2020). Response surface optimization of biodiesel synthesis over a novel biochar-based heterogeneous catalyst from cultivated (*Musa sapientum*) banana peels. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00655-8>
- Karim, A. A., Kumar, M., Singh, S. K., Panda, C. R., & Mishra, B. K. (2017). Potassium enriched biochar production by thermal plasma processing of banana peduncle for soil application. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 123, 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.12.009>
- Andrade-Alvarado, K. (2017). Análisis sustentable de las fincas de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) en Santa Rosa de Quives, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 16(2). <https://bit.ly/3r2w2Ph>
- 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. *Bioresource Technology*, 282, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.092>
- Luna-Romero, A., Sánchez, C., Ramírez-Morales, I., Conde-Solano, J., Agurto-Luisa, & Villaseñor-Ortiz, D. (2018). Spatio-temporal distribution of precipitation in the Jubones river basin. *Scientia Agropecuaria*, 9(1). <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.07>
- Mago, M., Yadav, A., Gupta, R., & Garg, V. K. (2021). Management of banana crop waste biomass using vermicomposting technology. *Bioresource Technology*, 326, 124742. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124742>
- 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 Agroecosistemas*, 6(3), 76–81. <https://bit.ly/3u7QHdk>

- Martínez Acosta, A., & Cayón, D. (2011). Dinámica del crecimiento y desarrollo del banano (*Musa AAA* Simmonds cvs. Gran Enano y Valery). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(2). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29360>
- Munongo, M. E., Nkeng, G. E., & Njukeng, J. N. (2017). Production and characterization of compost manure and biochar from cocoa pod husks. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 2(2), 26–31. <https://bit.ly/3LFXOsF>
- Omulo, G., Banadda, N., Kabenge, I., & Seay, J. (2019). Optimizing slow pyrolysis of banana peels wastes using response surface methodology. *Environmental Engineering Research*, 24(2), 354–361. <https://doi.org/10.4491/eer.2018.269>
- Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zubelzu, S., & Knox, J. W. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae*, 276, 109735. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109735>
- Paungfoo-Lonhienne, C., Redding, M., Pratt, C., & Wang, W. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria increases the efficiency of fertilisers while reducing nitrogen loss. *Journal of Environmental Management*, 233, 337–341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.052>
- 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. <http://dx.doi.org/10.15517/isucr.v14i27.10408>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00069-9>
- Quevedo Guerrero, J., Farez Yunga, D., & García, R. (2021). Evaluación de los efectos del biocarbón como enmienda edáfica en la fitosanidad del cultivo de cacao tipo nacional. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 164–177. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/483>
- Sánchez Pilcorema, S., Condoy Gorotiza, A., Sisalima Morales, P., Barrezueta Unda, S., & Jaramillo Aguilar, E. (2020). Uso de biocarbones en medios de cultivo para el crecimiento de *Trichoderma spp.* in vitro. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(2), 66–72.
- 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>
- SPSS. (2013). SPSS Statistics for Windows (Version 21) [Computer software]. IBM Corp. <https://www.ibm.com/us-en/marketplace/spss-predictive-analytics-enterprise>
- Tenesaca, S., Quevedo, Q., & García, 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 Agrosistemas*, 7(3), 134–141. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/328>
- Tsai, C.-H., Tsai, W.-T., Liu, S.-C., & Lin, Y.-Q. (2018). Thermochemical characterization of biochar from cocoa pod husk prepared at low pyrolysis temperature. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 8(2), 237–243. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-017-0259-5>
- Vásquez-Castillo, W., Racines-Oliva, M., Moncayo, P., Viera, W., & Seraquive, M. (2019). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(4), 57–66. <https://bit.ly/3DHZ00E>
- Villaseñor, D., Noblecilla-Romero, Y., Luna-Romero, E., Molero-Naveda R, Barraqueta-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. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaas36-14ro-dv80014>

- 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, Q., Song, Y., Wu, Z., Yan, X., Gunina, A., Kuzyakov, Y., & Xiong, Z. (2020). Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118435. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118435>