



Efecto del abono orgánico con biocarbón sobre las características morfológicas de mazorca de *Theobroma cacao* CCN51

Effect of the use of organic manure with biochar on the morphological characteristics of *Theobroma cacao* pods CCN51

Salomon Barrezueta-Unda¹
Jefferson Rizzo-Muñiz²
Hugo Añazco Loaiza³



DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n2.2022.14265>

RESUMEN: La pérdida de fertilidad del suelo y los patógenos afectan de manera directa el rendimiento del cacao. Una alternativa para estos problemas es el uso de abonos orgánicos como el biocarbon (BC). El objetivo de la presente investigación fue medir los efectos de varias dosis de BC de cacao (BCC) y de banano (BCB) en mezcla con humus de lombriz sobre algunos parámetros en la morfología de la mazorca del cacao CCN51. Se delimito cuatro parcelas, en cada una se evaluaron 15 plantas por tratamiento que se conformaron por dosis de: 50 g (T1) y 75 g (T2) de BCC+humus, 50 g (T3) y 75 g (T4) de BCB+humus y dosis de 150 g de humus (T0-parcela control). Los promedios más altos de mazorcas sanas cosechadas (MS) correspondieron a T0 (13,45 MS), seguido de T3, T2 y T4, sin obtener diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos, pero si con la parcela control. En mazorcas enfermas (ME) el mayor valor fue de 3,23 (T0) y el promedio más bajo de 1,96. El porcentaje de mazorcas sanas cosechadas varió de 78.54 % (T0) a 82.95 % (T4), sin obtener diferencias significativas. Tampoco se obtuvieron diferencias significativas en los parámetros de largo, diámetro y peso de mazorca. El rango de peso de 100 semillas secas fue 166,65 g (T0) a 185,56 g (T1) con diferencias significativas entre los tratamientos. Los tratamientos de BC+humus mostraron valores superiores de MS y menores de ME a los obtenidos en otras investigaciones.

PALABRAS CLAVE: Abono Orgánico, Humus, Suelo, Fertilidad Del Suelo.

ABSTRACT: The loss of soil fertility and pathogens directly affect cocoa yields. An alternative to these problems is the use of organic manures such as biochar (BC). The aim of this research was to measure the effects of various doses of cocoa BC (BCC) and banana BC (BCB) mixed with earthworm humus on the morphological parameters of cocoa pods CCN51. Four plots were delimited, in each one 15 plants per treatment were evaluated, which consisted of doses of: 50 g (T1) and 75 g (T2) of BCC+humus, 50 g (T3) and 75 g (T4) of BCB+humus and 150 g of humus (T0-control plot). The highest averages of harvested cocoa pods (HC) corresponded to T0 (13.45 DM), followed by T3, T2 and T4, with no significant differences ($p \leq 0.05$) between treatments, but with the control plot. In diseased cocoa pods (DC) the highest value was 3.23 (T0) and the lowest average was 1.96. The percentage of healthy ears harvested ranged from 78.54 % (T0) to 82.95 % (T4), with no significant differences. No significant differences were also obtained in ear length, ear diameter and ear weight parameters. The range of 100 dry seed weight was 166.65 g (T0) to 185.56 g (T1) with significant differences among the treatments. The BC+humus treatments showed higher HC and lower DC values than those obtained in other investigations.

KEYWORDS: Organic Manure, Earthworm Humus, Soil, Soil Fertility.

FECHA DE RADICACIÓN: 27 de abril de 2022 **FECHA DE APROBACIÓN:** 18 de mayo de 2022

CÓMO CITAR: Barrezueta Unda, S., Rizzo Muñiz, J., & Añazco Loaiza, H. Efecto del uso de abono orgánico con biocarbón sobre las características morfológicas de mazorca de *Theobroma cacao* cv CCN51. *Ciencia y Agricultura*, 19(2): 1-12. <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n2.2022.14265>

- 1 PhD. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Avenida Panamericana km 5.5, Machala, Ecuador. sabarrezueta@utmachala.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4147-9284>
- 2 Ing. Agr. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Avenida Panamericana km 5.5 Machala, Ecuador. jrizzo_est@utmachala.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1209-9688>
- 3 M.Sc. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil. Avenida Panamericana km 5.5 Machala, Ecuador. hanazco@utmachala.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6090-7155>

INTRODUCCIÓN

El *Theobroma Cacao* L., (Malvales: Sterculiaceae), es una planta leñosa cuyo origen está situado en la cuenca del río Amazonas y domesticada en Centroamérica hace aproximadamente 1 500 años (Boza et al., 2014). Con la llegada de los españoles a América fue llevado a Europa para convertirse en un producto base para elaborar chocolate, licor y pasta de cacao (Sánchez-Mora et al., 2015). En la actualidad, el cacao se cultiva entre las latitudes 10° Norte y 10° Sur del planeta. La fácil adaptación a climas seco, semihúmedos y húmedos de los clones de cacao permitió que los principales exportadores sean los países africanos Costa de Marfil (2,1 millones de toneladas) y Ghana (0,8 millones de toneladas), seguidos de Ecuador que logrando comercializar 0,32 millones de toneladas en el 2019 (Nair, 2021).

Los pequeños agricultores, cultivan el cacao asociado con otras especies forestales y frutales, este manejo tradicional con sombra beneficia al reciclaje de nutrientes, incrementa la materia orgánica del suelo, entre otras ventajas (Deheuvels et al., 2012). Sin embargo, medianos y grandes agricultores mantienen los cultivos de cacao sin sombra, bajo condiciones de riego por inundación, excesivo uso de pesticidas, entre otros factores, que a largo plazo ocasionan la degradación de los suelos (Cornelissen et al., 2018; Nair, 2021; Ferry et al., 2022). Esta degradación causa que los suelos se acidifiquen, degradando la microflora y fauna del suelo que ayudan a la descomposición de la materia orgánica, alterando la fertilidad natural del mismo.

La fertilización en los suelos degradados hace que la agricultura sea ineficaz, a pesar de aplicar de la aplicación de dosis de abonos orgánicos recomendadas; por ejemplo, si el suelo no se encuentra en un pH adecuado (6,0 a 7,0) los nutrientes no pueden ser absorbidos por las plantas (Ferry et al., 2022), adicionalmente, el uso indiscriminado de pesticidas para el control de *Phytophthora spp* y *Moniliophthora roreri*, patógenos que afectan al fruto (mazorca) del cacao (Doungous et al., 2018; Nair, 2021), ejercen un efecto negativo en el rendimiento de las plantaciones.

En este contexto, una alternativa para enmendar los suelos degradados en su fertilidad y para disminuir el uso de pesticidas, se plantea una alternativa de biorremediación de suelos mediante el uso de abonos orgánicos con el biocarbón (BC), también denominado carbón vegetal o biochar (Agegnehu et al., 2016; Cornelissen et al., 2018; Marín-Armijos, García-Batista y Barrezueta-Unda, 2018; Quevedo-Guerrero y Farez-Yunga, 2021). El biocarbón es obtenido por pirólisis a temperatura entre 300 °C a 500 °C en condiciones limitadas de oxígeno (Tsai et al., 2020). Aunque existen criterios divididos en cuanto su aplicación a largo plazo, pues se indican problemas de alcalinidad del suelo así como saturación de las bases en los primeros 5 cm del suelo (Yeboah et al., 2016; Cornelissen et al., 2018). También se sugiere que las enmiendas con BC en combinación con otros abonos como el humus de lombriz, el estiércol de

rumiantes o aves, puede añadirse directamente al suelo para aportar nutrientes a las plantas y suprimir enfermedades causadas por patógenos (Doun-gous et al., 2018). En el caso del humus de lombriz, se reconoce una mejora en la asimilación de los cationes tales como el P, Mg y Fe, evitando la concentración de sales (sodio, cloruros, etc.) y estabiliza el pH del suelo; así como también, promueve la proliferación de organismos benéficos que impidan el desarrollo de patógenos (Khatua et al., 2018; Tian et al., 2021).

Además, el cultivo del cacao genera una cantidad considerable de residuos orgánicos que pueden transformarse en biochar, como son las vainas del fruto del cacao, que es una baya la cual se conoce como mazorca (Ferry et al., 2022). Otras fuentes de materia prima para obtener biochar en las zonas tropicales es el raquis del banano, principalmente de plantaciones comerciales que de forma continua aporta con biomasa residual después de las cosechas y que se puede reutilizar como abono orgánicos (Marín-Armijos, García-Batista y Barrezueta-Unda, 2018).

En Ecuador, el cultivar de cacao más representativo es el Nacional, pero en las dos últimas décadas el clon Castro Colección Nacional árbol 51 (CCN 51), se ha convertido en el cacao de mayor área sembrada en Ecuador, sobre todo por su alta productividad. En el país, la mayoría de los cultivares de CCN51 tiene un manejo sin sombra en su etapa de producción (Barrezueta-Unda y Paz-González, 2018). Este clon tiene características inferiores al Nacional en cuanto a su perfil organoléptico de aroma y sabor, además de ser más susceptible a las enfermedades (Boza et al., 2014; Sánchez-Mora et al., 2014; Quintana-Fuentes et al., 2015). Con este enfoque, el objetivo de la investigación fue: medir los efectos de varios tratamientos de biocarbón en mezcla con humus de lombriz en la morfología de la mazorca del clon de cacao CCN51.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Se seleccionó un lote de 5 hectáreas dedicado a la producción de cacao CCN51, ubicados en el sector Sabanas de Pagua, en la provincia de El Oro (Ecuador). La ubicación geográfica es: latitud 3°3'0" Sur, longitud 79°44'0" Oeste, a 13 msnm, temperatura media entre 22-24°C, y el promedio anual de precipitación entre 1200 a 1500 mm.

Diseño experimental

El diseño del experimento corresponde a un diseño complementamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y un tratamiento un testigo, cada una en

parcelas de 1500 m², donde se identificaron 15 plantas a las que se aplicaron las diferentes dosis (Tabla 1). El tratamiento uno (T1) y tratamiento dos (T2) se conformaron de BCC+humus en dosis de 50 g y 75 g, respectivamente. En el tratamiento testigo (T0) no se agregó biocarbón, solo se le aplicó dosis de 150 g de humus que previamente fue regado con Biol de manera similar como se realizó con los tratamientos con BC.

TABLA 1. Tratamientos aplicados en las parcelas

Tratamientos	Dosis
T1	50 g de BCC + humus
T2	75 g de BCC + humus
T3	50 g de BCB + humus
T4	75 g de BCB + humus
T0	150 g de humus

*Biocarbon de cacao: BCC, ** Biocarbon de banano: BCB

Para obtener el BC se siguió la metodología propuesta por Marín-Armijos, García-Batista y Barrezueta-Unda (2018), realizando una pirolisis en un horno artesanal de doble fondo. Cabe señalar que para la obtención del biochar de cacao se tuvo una duración de 2 a 3 horas y en el banano de 1 a 2 horas.

Para mejorar el potencial del biocarbón fue necesario adquirir en una casa comercial humus de lombriz de con un pH de 7,8 y 25 % de humedad. También se preparó un Biol a base de alfalfa, suero de leche, melaza y estiércol de bovino, preparado que se dejó fermentar por 45 días. Una vez obtenidos todos los insumos, se colocó en un plástico tendido en el suelo el BC y el humus en partes iguales para proceder a mezclar. Luego se regó con 1 litro de Biol con una bomba manual para luego voltear la mezcla con una paleta. Este procedimiento de riego y volteado se realizó durante 24 días, con un intervalo de 4 días. La preparación de biochar de cacao (BCC) y de biochar de banano (BCB) se realizó por separado.

Con el BCC + humus y BCB + humus obtenido se determinó su pH y la conductividad eléctrica (CE) en una pasta de saturación en relación 1:2.5 en agua, medición realizada por triplicado en un potenciómetro (HI98194, Hanna, Rumania).

Se realizaron dos aplicaciones de material con un intervalo de 12 semanas entre la primera y la segunda aplicación, cuando el cacao estaba en su etapa de floración. Los muestreos se realizaron con una frecuencia de 15 días para un total de 6 muestreos durante el tiempo del ensayo. Solo se contabilizó las mazorcas aptas para la cosecha y las mazorcas enfermas con más de 10 cm de largo. Las variables analizadas fueron: número de mazorcas sanas (MS), número de mazorcas enfermas (ME), porcentaje de MS [Ecuación 1], longitud,

diámetro y peso de la mazorca, número de almendras por mazorca. Para determinar el peso de almendra en húmedo fueron seleccionadas 100 almendras recién cosechadas que se pesaron, luego se fermentaron en un saco de yute por 6 días, posteriormente fueron secaron por 4 días al ambiente y finalmente se registró su peso en seco. Este procedimiento de pesos en fresco y seco se realizó por triplicado para cada tratamiento.

$$MS (\%) = \left(\frac{MS}{MS+ME} \right) * 100 \quad [1]$$

Análisis estadístico

Los valores obtenidos por tratamiento fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo (media y desviación estándar). También, se utilizó un ANOVA de una vía y de comparación de medias mediante la prueba Tukey al 5 % de significación, para determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos. Los valores obtenidos se tomaron por triplicado y se tabularon en una hoja de cálculo para introducirlos en el software estadístico SPSS (SPSS, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos donde se aplicó los biochar de cacao y biochar de banano en mezcla con humus (Tabla 2), presentaron un pH de altamente alcalino (8,9 y 8,8; respectivamente), características que adquiere en el proceso de pirólisis entre 250-350 °C, donde incrementan el porcentaje de algunos cationes alcalinos como: Ca⁺², Mg⁺² y K⁺ (Wang et al. 2015). La conductividad eléctrica (CE) fue > 0,17 dS. m⁻¹, que al ser comparados con los valores utilizados para interpretar la CE en suelos estarían dentro del rango no salino, resultado explicado el bajo nivel de Na en las biomásas de cacao y banano (Ferry et al., 2022). Los valores que se obtuvieron antes de realizar la enmienda orgánica, son los favorables para aplicar en los suelos cacaoteros con pH ácido, los cuales son muy comunes en la zona donde se realizó el estudio (Villaseñor, Chabla y Luna, 2015). Adicionalmente, Agegnehu et al., (2016) indican que los suelos ligeramente ácidos tiene problema en el llenado del fruto, así la condiciones del ambiente esté a favor del cultivar, por la limitación en la disponibilidad de nutrientes; pero cuando se aplica biochar en combinación con otros abonos orgánicos se producen la regulación del pH a la categorías de neutro a ligeramente alcalino.

TABLA 2. Valores de pH y conductividad eléctrica.

Parámetros	BCC+humus	BCB+humus	Humus	Suelos
pH	8,9	8,7	7,8	5,8
Conductivas eléctrica	0,13 dS/m	0,17 dS/m	0,96 dS/m	0,23 dS/m

Biocarbon cacao más humus: BCC+humus; Biocarbon de banano más humus: BCB+humus.

El análisis de varianza (ANOVA) por tratamientos presentado en la Tabla 2, indica diferencias significativas ($p\text{-valor}\leq 0,05$), en el número de mazorcas sanas y de mazorcas enfermas y no en el índice de mazorca ($p=0,25$).

El mayor promedio de mazorcas sanas y de mazorcas enfermas se registró en el tratamiento testigo, donde se contabilizaron 13,54 y 3,23 mazorcas, respectivamente. Por otro lado, los promedios de menor a mayor, de mazorcas sanas en los tratamientos de biochar y humus fueron de: 9,94 (T1), 11,20 (T3), 11,62 (T2) y 12,03 (T3). Mientras los valores mínimos y máximos de mazorcas enfermas fueron entre cero a 13 mazorcas; el mayor promedio de esta variable correspondió al tratamiento tres (2,70), seguido del tratamiento dos (2,41 mazorca), el tratamiento 1 (2,10 mazorca) y el tratamiento 4 (1,96 mazorca). Los promedios de mazorcas sanas cosechadas difieren de los resultados de Sánchez-Mora et al., (2014) y de Quintana-Fuentes et al., (2015) en época de fructificación (febrero-abril) estimando entre 14 a 30 mazorcas/planta del clon CCN51.

Frente a esta variación de mazorcas sanas cosechadas y la reducción de mazorcas enfermas, varios investigadores sostienen que depende de varios factores externos a las aplicaciones de biochar, como el clima en la zona en estudio, tipos de suelo o presión de la enfermedad de plantaciones aledañas (Quevedo-Guerrero y Farez-Yunga, 2021; Pinzón-Nuñez et al., 2022). Para Tian et al., (2021), explica que los biochar tiene una acción supresora y que se incrementa al mezclarse con el humus de lombrices, esto porque promueve la proliferación de bacterias que fijan N y que actúan como saprofitos varios hongos patógenos que se encuentra en el suelo. Por otra parte, Pinzon-Nuñez et al., (2022), explican que el biochar regula la degradación de los ácidos fenólicos en el interior de la planta, principal metabolito que actúa como agente protector de patógeno. Esto ocurre, por el aporte compuestos aromáticos (C=C, C=O) y alifáticos (O-H, C-H) que se obtiene en el proceso de pirólisis.

En tabla 3, también se muestra el índice de mazorcas, donde la variación en el rango mínimo fue de 50 % (T1) a 29 % (T3) y el rango máximo fue de 100 % en todos los tratamientos incluido el testigo. Valores que indican que más del 50 % de las plantas tuvieron incidencias de plagas en las mazorcas y en todos los tratamientos al menos una planta no presentó daños en las mazorcas contabilizadas. Por otro lado, el promedio general varió de 78,54 % (T0) a 82,95 % (T4). Los porcentajes obtenidos concuerdan con otros trabajos en donde se presentan entre 77 % a 81 % de índice de mazorca, pero en una medición anual y no estacional como la que se presentó en la investigación (Sánchez-Mora et al., 2014; Tuesta-Pinedo et al., 2017).

Para Estivarez Copa (2019) el porcentaje de mazorcas sanas, no es un buen indicador del rendimiento y sugiere que este parámetro es una medida relativamente confiable para estimar la capacidad de producción de un material genético. Ruales-Mora, Burbano-Orjuela y Ballesteros-Possú, (2011) expresan

que cada híbrido de cacao muestra rendimientos que diferencian significativamente en razón de las dosis de fertilización, pero en un solo clon en condiciones de manejo iguales, los rendimientos no son significativos.

TABLA 3. Análisis de varianza de mazorcas sanas, mazorcas enfermas e índice de mazorca.

	Tratamientos	Mínimo	Media (DS)	Máximo	F	Sig.
MS	T1	2	9,94 ±5,65	33	3,79	0,01
	T2	2	11,62 ±7,09	36		
	T3	0	12,03 ±6,68	35		
	T4	0	11,20 ±7,12	43		
	T0	2	13,54 ±7,62	35		
	Tratamientos	Mínimo	Media (DS)	Máximo	F	Sig.
ME	T1	0	2,10 ±1,96	13	6,33	0.01
	T2	0	2,41 ±2,12	9		
	T3	0	2,70 ±1,97	10		
	T4	0	1,96 ±1,70 b	12		
	T0	0	3,23 ±2,46	12		
	Tratamientos	Mínimo	Media (DS)	Máximo	F	Sig.
% MS	T1	40	81.50 ±14.75	100	1,33	0,25
	T2	38	81.70 ±14.87	100		
	T3	50	80.73 ±12.13	100		
	T4	29	82.95 ±14.74	100		
	T0	33	78.54 ±15.30	100		

* MS: Mazorcas sanas; ME: Mazorcas enfermas; % MS: porcentaje de Índice de mazorca sana.

El análisis de varianza, no se muestra diferencias significativas (p -valor $>0,05$) entre los tratamientos para las variables: longitud, diámetro, peso de las mazorcas y número de semillas por mazorcas (Tabla 4). En la longitud de mazorca los valores fluctuaron entre 19,86 cm (T1) a 20,67 cm (T0), mientras que en el diámetro la variación fue de 29,98 cm (T2) a 30,71 cm (T1). Para el peso de las mazorcas los valores de mayor a menor fueron de 707,07 g (T0), 705,78 g (T4), 700,90 g (T1), 668,81 g (T3) y 671,04 g (T2). Barrezueta-Unda y Sisalima-Morales, (2021) no encuentran diferencias significativas entre estas variables morfológicas de la mazorca. Se corrobora que las medidas obtenidas de largo y diámetro de mazorca son las normales para CCN51 (Sánchez-Mora et al., 2015). Quintana-Fuentes et al., (2015), señalan que el desarrollo de la mazorca en cuanto a largo y diámetro varían muy poco cuando los ensayos se realizan sobre un solo genotipo de cacao y en igual condiciones de manejo, aunque difiera su dosis de abono orgánico.

El mayor promedio de semillas por MS cosechada, se registró en el tratamiento 2 con 45,42 semillas y el menor valor correspondió al tratamiento 3 T3 con 38,53 semillas (Tabla 4). Estos valores están dentro del valor máximo

estimado por Vera-Chang et al., (2014) para híbridos de cacao Nacional ecuatoriano (35,07-46,4 semillas) y para el CCN51 (40-46,35 semillas); mientras, Estivarez Copa, (2019) estimó en varios híbridos de cacao nacional boliviano un rango de 24 a 44 semillas por mazorca.

La Figura 1, muestra los valores promedios y de la prueba de Tukey del peso de 100 almendras de cacao por tratamiento en húmedo y en seco, obteniendo diferencias significativas (p -valor \leq 0,05) en ambos casos. Los valores de peso en húmedo de las almendras variaron de mayor a menor de la siguiente manera: 462,60 g (T0), 444,98 g (T3), 441,83 g (T4), 421,08 g (T1) y 420,18 g (T2). Pesos de las semillas disminuyen una vez que se fermentaron y secaron, obteniendo los siguientes promedios: 185,56 g (T1), 181,77 g (T3), 176,03 g (T0), 174,91 g (T4) y 166,65 g (T2). Estos registros superan a los obtenidos por Vera-Chang et al., (2014) que obtuvo valores entre 90 g a 162 g para el cacao Nacional y de 165,67 g para CCN51. La comparación de estas variables indica una menor pérdida de peso en T1 (235,52 g), seguido de T2 (253,58 g), T3 (263,21 g), T4 (266,92 g) y T0 (286,57 g).

TABLA 4. Análisis de varianza de parámetros morfológicos de las mazorcas de cacao por tratamiento

Variables	Tratamientos	Mínimo	Media (DS)	Máximo	F	Sig.
Longitud Mazorca (cm)	T1	14	20,56 \pm 3,3	35	0,49	0,74
	T2	15	20,4 \pm 2,92	34		
	T3	14	19,86 \pm 2,6	24		
	T4	15	20,44 \pm 2,57	26		
	T0	15	20,67 \pm 2,70	26		
Diámetro Mazorca (cm)	Tratamientos	Mínimo	Media (DS)	Máximo	F	Sig.
	T1	25	30,71 \pm 2,84	36	0,49	0,75
	T2	22	29,98 \pm 2,93	36		
	T3	26	30,23 \pm 2,57	35		
	T4	25	30,19 \pm 2,34	34		
T0	24	30,2 \pm 30,20	35			
Peso Mazorca (g)	Tratamientos	Mínimo	Media (DS)	Máximo	F	Sig.
	T1	385	700,90 \pm 185,33	1072	0,48	0,75
	T2	345	671,04 \pm 186,49	1153		
	T3	360	668,81 \pm 195,88	1037		
	T4	382	705,78 \pm 167,55	1075		
T0	355	707,07 \pm 193,70	1075			
# Almendras	Tratamientos	Mínimo	Media (DS)	Máximo	F	Sig.
	T1	20	43,56 \pm 11,52	61	1,78	0,13
	T2	26	45,42 \pm 9,72	61		
	T3	15	39,53 \pm 12,95	60		
	T4	16	44,81 \pm 12,78	60		
T0	19	44,80 \pm 12,10	59			

Cornelissen et al., (2018), Barrezueta-Unda & Sisalima-Morales, (2021) y Ferry et al., (2022), indican que es positivo el efecto del BCC y de otros BC en combinación con abonos orgánicos en el peso de las semillas de cacao, y que actúa como una enmienda para compensar las pérdidas de NPK que la planta extrae del suelo para formar el fruto. Por ejemplo, en cada 1000 kg de semillas de cacao cosechados, se toman 546 kg de N, 96 kg P, 246 kg de K y otros nutrientes como Mg, Ca y Fe (Puentes Paramo et al., 2014). En este trabajo no fue posible medir los niveles de varios elementos en los BC, pero las referencias bibliográficas indican que del BCC está conformado por 21,00 % a 28,00 % de K, 0,6 % a 1,26 % de Mg, mientras que el BCB se conforma de 35,24 % a 35,83 % de K, 1,48 % a 1,56 % de P y entre 2,12 % a 2,0 % de Mg (Karim et al., 2017; Liu, Ptacek y Blowes, 2019).

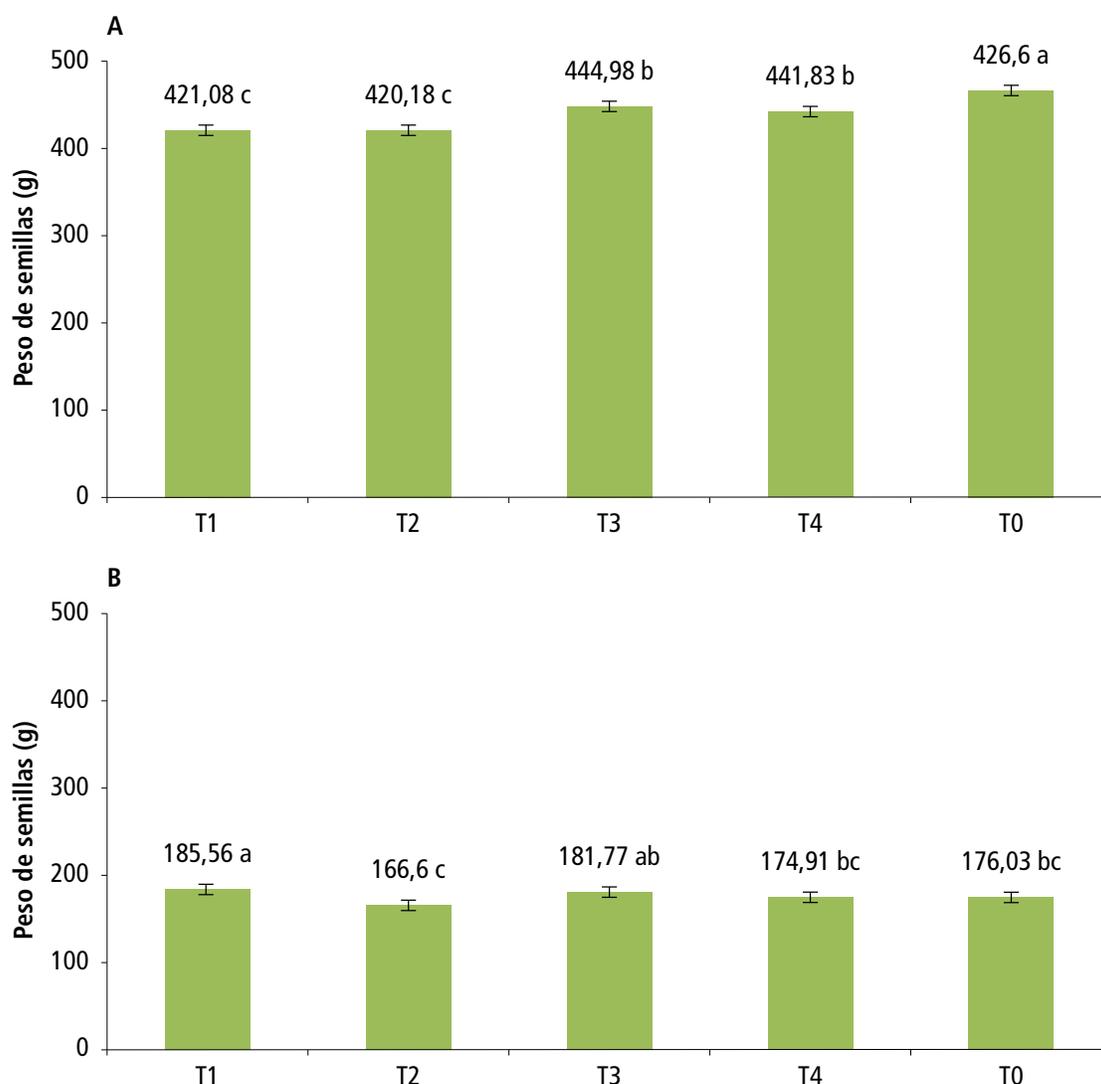


FIGURA 1. Promedio del peso de 100 semillas de cacao: A) en húmedo; B) en seco

CONCLUSIONES

Los valores de mazorca sanas obtenidos de los tratamientos conformados por el biochar de cacao y humus+bio (T1 y T2) y por el biochar de banano y humus+biol (T3 y T4) están fuera del rango de rendimiento mazorca/árbol para el clon de cacao CCN51. Pero se observó una reducción de mazorcas enfermas entre los tratamientos con biochar con respecto al tratamiento testigo, siendo las dosis de T1 (50 g de BCC + 50 g de humus), T2 (75 g de BCC + 75 g de humus) y T4 (75 g de BCB + 75 g de humus) de donde se obtuvo el menor porcentaje.

El principal efecto observado y que interesa al agricultor es el peso de la semilla, destacándose los tratamientos: T1 (50 g de BCC + 50 g de humus) y T3 (50 g de BCB + 50 g de humus), que presentaron los valores más altos, y que se ubican sobre el promedio obtenido por otros investigadores en tratamientos con fertilizaciones químicas.

Por otra parte, se recomienda no utilizar los parámetros morfológicos de la mazorca: largo, ancho y peso como variables de medición en especial cuando se compara dosis de biochar entre cultivares de cacao CCN51 en similares condiciones de ambiente; de preferencias se sugiere utilizar estas variables en experimentos que se comparen como distintos híbridos de cacao y en condiciones climatológicas diferentes.

También se sugiere realizar ensayos más largos para corroborar el efecto supresor por parte del biochar, obtenido de los restos de cacao y banano sobre patógenos en suelos cacaoteros.

REFERENCIAS

- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *The Science of the Total Environment*. 543: 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Barrezueta-Unda, S., Paz-González, A. (2018). Indicadores de sostenibilidad sociales y económicos: Caso productores de cacao en El Oro, Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*. 11(27): 20–29.
- 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.
- Boza, E. J., Motamayor, J. C., Amores, F. M., Cedeño-Amador, S., Tondo, C. L., Livingstone, D. S., Schnell, R. J., Gutiérrez, O. A. (2014). Genetic Characterization of the Cacao Cultivar CCN 51: Its Impact and Significance on Global Cacao Improvement and Production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. *American Society for Horticultural Science*. 139(2): 219–229. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.2.219>

- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.380>
- Deheuvels, O., Avelino, J., Somarriba, E., Malezieux, E. (2012). Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 149: 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.003>
- Doungous, O., Minyaka, E., Longue, E. A. M., Nkengafac, N. J. (2018). Potentials of cocoa pod husk-based compost on Phytophthora pod rot disease suppression, soil fertility, and Theobroma cacao L. growth. *Environmental Science and Pollution Research International*. 25(25): 25327–25335. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2591-0>
- Estivarez Copa, M. E., Maldonado Fuentes, C. (2019). Criterios de selección para cacao nacional Boliviano (*Theobroma cacao* L.), en Alto Beni-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. 6(2):29-36.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/974/1/012045>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2016.12.009>
- Khatua, C., Sengupta, S., Krishna Balla, V., Kundu, B., Chakraborti, A., Tripathi, S. (2018). Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia fetida*. *Waste Management*. 79: 287–295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.043>
- Liu, P., Ptacek, C. J., & Blowes, D. W. (2019). Release of nutrients and trace elements from wood, agricultural residue and manure based biochars. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 13(4): 747–758. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.092>
- 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.
- Nair, K. P. (2021). Cocoa (*Theobroma cacao* L.). En: Tree Crops : Harvesting Cash from the World's Important Cash Crops. K. P. Nair (Ed.), pp 153–213. *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62140-7_5
- Pinzon-Nuñez, D. A., Adarme-Durán, C. A., Vargas-Fiallo, L. Y., Rodríguez-Lopez, N., Rios-Reyes, C. A. (2022). Biochar as a waste management strategy for cadmium contaminated cocoa pod husk residues. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric*. 11(1): 101–115. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2021.1920124.1192>
- Puentes Paramo, Y. J., Menjivar Flores, J. C., Gomez Carabali, A., Aranzazu Hernandez, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*. 63(2): 145–152.
- Quevedo-Guerrero, J., Farez-Yunga, D. (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.

- Quintana-Fuentes, L., Gómez-Castelblanco, S., García-Jerez, A., & Martínez-Guerrero, N. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 6(1), 252–265.
- Ruales-Mora, J., Burbano-Orjuela, H., Ballesteros-Possú, W. (2011). Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 28(2): 81–94.
- Sánchez-Mora, F., Medina-Jara, M., Díaz-Coronel, G., Ramos-Remache, R., Vera-Chang, J., Vásquez-Morán, V., Troya-Mera, F., Garcés-Fiallos, F., Onofre-Nodari, R. (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(3): 265–274.
- Sánchez-Mora, F., Zambrano-Montufar, J., Vera-Chang, J., Ramos-Remache, R., Garcés-Fiallos, F., Váscónez-Montúfar, G. (2014). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencia Y Tecnología*. 7(1): 33–41.
- SPSS. (2013). SPSS Statistics for Windows (Version 21) [Computer software]. IBM Corp. <https://www.ibm.com/us-en/marketplace/spss-predictive-analytics-enterprise>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-021-11464-y>
- Tsai, W.-T., Hsu, C.-H., Lin, Y.-Q., Tsai, C.-H., Chen, W.-S., Chang, Y.-T. (2020). Enhancing the Pore Properties and Adsorption Performance of Cocoa Pod Husk (CPH)-Derived Biochars via Post-Acid Treatment. *Processes*. 8(2): 144. <http://dx.doi.org/10.3390/pr8020144>
- Tuesta-Pinedo, Á. L., Trigozo-Bartra, E., Cayotopa-Torres, J. J., Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Zúñiga-Cernadez, L. B., Leon-Ttacca, B. (2017). Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao* L.) con la inclusión de Trichoderma endófito y Micorrizas arbusculares. *Revista Tecnología en Marcha*. 30(1): 67.
- Vera-Chang, J., Vallejo-Torres, C., Párraga-Morán, D., Macías-Véliz, J., Ramos-Remache, R., Morales-Rodríguez, W. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao Nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*. 7(2): 21–34.
- Villaseñor, D., Chabla, J., Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia del El Oro. *Cumbres*. 1(2): 28–34.
- Wang S, Gao B, Zimmerman A, Li Y, Ma L, Harris W, Migliaccio K (2015) Physico-chemical and sorptive properties of biochars derived from woody and herbaceous biomass. *Chemosphere* (134): 257-262. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.062>
- Yeboah, E., Asamoah, G., Kofi, B., Abunyewa, A. A. (2016). Effect of biochar type and rate of application on maize yield indices and water use efficiency on an ultisol in Ghana. *Energy Procedia*. 93: 14–18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.07.143>