

# Biocarbón de ápices de caña de azúcar como enmienda de suelo para el cultivo de *Ocimum basilicum* var. thyrsoflora en invernadero

## Biochar from sugarcane apices as a soil conditioner for greenhouse cultivation of *Ocimum basilicum* var. thyrsoflora

Carlos Alberto Pérez-Cabrera<sup>1</sup>, Porfirio Juárez-López<sup>2,†</sup>, José Anzaldo-Hernández<sup>3</sup>, Irán Alia-Tejacal<sup>2</sup>, Luis Alonso Valdez-Aguilar<sup>4</sup>, Gelacio Alejo-Santiago<sup>5</sup>, Rogelio Castro-Brindis<sup>6</sup>, Víctor López-Martínez<sup>2</sup> y Daniela Alvarado-Camarillo<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Av. Vicente Guerrero 81, Primer Piso, Col. Centro. 40000 Iguala de la Independencia, Guerrero, México.  
<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. Av. Universidad 1001. 62210 Cuernavaca, Morelos, México.

<sup>3</sup> Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Blvd. Marcelino García Barragán 1421, Olímpica. 44430 Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura; <sup>7</sup> Departamento de Ciencias del Suelo. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

<sup>5</sup> Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela km 9. 63780 Xalisco, Nayarit, México.

<sup>6</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

<sup>†</sup> Autor para correspondencia (porfirio.juarez@uaem.mx)

### RESUMEN

La incorporación al suelo de biocarbón obtenido de cascarrillas, rastrojos, residuos forestales, estiércoles, entre otros residuos puede mejorar el crecimiento de los cultivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del biocarbón de ápices de caña de azúcar (BACA) en el crecimiento de albahaca tailandesa (*Ocimum basilicum* var. thyrsoflora) cultivada en invernadero. Los tratamientos consistieron en mezclas de biocarbón y suelo franco arenoso (v/v) de 0 (testigo), 7, 14, 21 y 28%. Se evaluó altura de planta, materia fresca y seca, área foliar, unidades SPAD y la concentración nutrimental foliar. El uso de BACA al 7% incrementó 45.1% la materia fresca, 35.2% la materia seca y 54.5% el área foliar. Por otro lado, el tratamiento con BACA 21% presentó la mayor concentración foliar de N-total (44.3 g kg<sup>-1</sup>), P (9.55 mg kg<sup>-1</sup>) y Ca (12.6 mg kg<sup>-1</sup>). El biocarbón de ápices de caña de azúcar puede ser incorporado al suelo como una alternativa en el manejo agronómico de albahaca tailandesa.

**Palabras clave:** albahaca tailandesa, biomasa, nutrición de cultivos, planta aromática, residuos orgánicos.

### SUMMARY

The incorporation of biochar obtained from husks, stubble, forest residues, manures, among other residues into the soil can improve the growth of crops. The objective of our study was to evaluate the effect of sugarcane apice biochar (SAB) on the growth of thai basil (*Ocimum basilicum* var. thyrsoflora) grown in a greenhouse. The treatments consisted of mixtures of biochar and sandy loam soil (v/v) at 0 (control), 7, 14, 21 and 28% concentrations. Plant height, fresh and dry matter, foliar area, SPAD units and the foliar nutrient concentration were evaluated. The use of 7% SAB increased the fresh matter (45.1%), dry matter (35.2%) and foliar area (54.5%). On the other hand, the 21% SAB treatment showed the highest foliar concentration of total-N (44.33 g kg<sup>-1</sup>), P (9.55 g kg<sup>-1</sup>) and Ca (12.61 g kg<sup>-1</sup>). We conclude that sugarcane apice biochar can be incorporated into the soil as an alternative in the agronomic management of Thai basil.

**Index words:** Thai basil, biomass, crop nutrition, aromatic plant, organic residues.

#### Cita recomendada:

Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejacal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Alejo-Santiago, G., Castro-Brindis, R., López-Martínez, V. y Alvarado-Camarillo, D. (2022). Biocarbón de ápices de caña de azúcar como enmienda de suelo para el cultivo de *Ocimum basilicum* var. thyrsoflora en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-8. e1077. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1077>

Recibido: 11 de noviembre de 2021. Aceptado: 05 de enero de 2022.  
Artículo. Volumen 40, febrero de 2022.

## INTRODUCCIÓN

Entre las propuestas de manejo sustentable del suelo, se encuentra la incorporación de residuos vegetales, incluyendo composta, vermicomposta, residuos de cosechas, acículas de pino, pajas, cascarillas y biocarbón (Ceccagno *et al.*, 2019; Orozco-Gutiérrez y Lira-Fuentes, 2020). El biocarbón es un material sólido poroso rico en carbono obtenido por la conversión termoquímica de biomasa vegetal en un ambiente limitado de oxígeno (Sánchez-Reinoso, Ávila y Restrepo, 2020). La incorporación de este producto como enmienda al suelo puede mejorar algunas de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas: capacidad de retención de agua, densidad aparente, pH y contenido de materia orgánica (Escalante-Rebolledo *et al.*, 2016). Además, facilita el laboreo del suelo y mejora su estructura (Sánchez-Pilcorema, Condoy, Sisalima, Barrezueta y Jaramillo, 2020). En consecuencia, su aprovechamiento puede incrementar la productividad de las plantas y diversificar el uso de los residuos orgánicos generados en la agricultura (Puentes-Escobar y Rodríguez-Carlosama, 2021; Rodríguez-Solís, Badilla y Moya, 2021).

El aporte de nutrientes del biocarbón al suelo está determinada por la especie vegetal empleada como materia prima, técnica de elaboración, temperatura y presión del reactor. En este sentido, Liu *et al.* (2020) reportan en soya (*Glycine max* L.) un incremento de altura de planta, número de vainas, rendimiento de semilla y biomasa con la aplicación de 5% de biocarbón obtenido a partir de paja de maíz (*Zea mays* L.) mediante la técnica de pirolisis a 450 °C durante 2 h. En sorgo (*Sorghum bicolor* L.) cultivado en suelo franco-arenoso Videgain-Marco *et al.* (2020) con aplicaciones del 3% de biocarbón de brotes de vid (*Vitis vinifera* L.) producido mediante la técnica de pirolisis a 400 °C reportan un incremento de 52% en peso de raíces. Por su parte, Manolikaki y Diamadapoulos (2019) en plantas de maíz (*Zea mays* L.) reportan una mejora en la acumulación de biomasa con la aplicación de 2% de enmienda como biocarbón obtenido de residuos de vid en un suelo franco-arenoso.

Por otro lado, la albahaca tailandesa (*Ocimum basilicum* var. *thyrsoflora*) es una planta herbácea aromática y medicinal de crecimiento rápido, con un amplio rango de tolerancia ambiental (Atiphasaworn,

Monggoot, Gentekaki, Brooks y Pripdeevech, 2017). Además, es una de las especies aromáticas más apreciadas por sus compuestos bioactivos tales como fenoles y flavonoides con efectos antioxidantes benéficos para la salud humana (Sumaira *et al.*, 2017; Ramírez-Aragón *et al.*, 2019). En México, en el año 2020 se produjeron 3103.4 toneladas de albahaca, que generó un valor de producción de \$ 49 231 220.00 pesos (SIAP, 2020). Sin embargo, son escasos los estudios del biocarbón sobre el crecimiento en cultivos aromáticos de importancia económica, como la albahaca que se utiliza principalmente en alimentos, medicina tradicional y cosméticos. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del biocarbón de ápices de caña de azúcar en el crecimiento de albahaca tailandesa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del Experimento y Material Vegetal

El estudio se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel con cubierta plástica color blanquecino (30% de sombra) y malla antiáfidos en las paredes laterales ubicado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México, (18° 58' 51" N y 99° 13' 55" O; a una altitud de 1866 m). La temperatura y humedad promedio dentro del invernadero fue de 22.3 °C y 56.1%, respectivamente. El biocarbón de ápices de caña de azúcar (BACA) fue obtenido con el método de carbonización hidrotérmica (HTC, por sus siglas en inglés) a 200 °C por 19 h descrita por Velázquez-Maldonado *et al.* (2019) y Pérez-Cabrera *et al.* (2021). Se utilizaron semillas de albahaca tailandesa cultivar Thai, de la empresa Huerto Aspic (Ciudad de México).

Los tratamientos consistieron de mezclas de BACA con suelo con las siguientes proporciones: 7, 14, 21 y 28% (v:v), donde el testigo empleado fue el suelo sin BACA. La textura del suelo empleado fue de textura franco arenoso, pH de (7.0) y CE (0.5 dS m<sup>-1</sup>). La concentración de nutrientes del suelo y el biocarbón (pH de 4.5 y CE de 0.5 dS m<sup>-1</sup>) se presentan en el Cuadro 1. Se utilizó un diseño completamente al azar con ocho repeticiones. La unidad experimental consistió en una planta por maceta.

**Cuadro 1. Concentración de nutrientes del suelo y del biocarbón de ápices de caña de azúcar (BACA).****Table 1. Concentration of soil nutrients and biochar from sugar cane tips (BACA).**

Nutriente	Suelo	BACA
N-total (g kg <sup>-1</sup> )	2.0	25.0
P (mg kg <sup>-1</sup> )	12.3	105.0
K (mg kg <sup>-1</sup> )	92.9	1611.0
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	1528.3	860.0
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	245.3	5981.5

### Manejo del Cultivo

Las semillas de albahaca tailandesa fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades con turba comercial Sunshine mix 3 (Sun Gro Horticulture) para su germinación. El trasplante se realizó el 21 de febrero de 2020, en macetas de polietileno rígido de 2 L de capacidad. A partir del trasplante, el riego se aplicó de forma manual en drench y consistió en aplicar 0.5 L de solución nutritiva de Steiner a concentración del 25% por maceta con fines de mantenimiento del cultivo, según requerimiento hídrico del cultivo. Los fertilizantes comerciales utilizados para preparar la solución nutritiva fueron Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. Los micronutrientes se agregaron con la mezcla comercial Ultrasol Micro Mix, SQM® con base al suministro de 3 mg L<sup>-1</sup> de hierro (Fe), es decir, dosis de 20 g por cada 500 L de solución nutritiva, también el pH de la solución nutritiva se ajustó entre 5.5 y 5.7 con ácido sulfúrico.

### Parámetros Evaluados

Las variables se evaluaron 33 días después del trasplante (ddt): altura de planta, se determinó desde la base del tallo hasta el ápice, con una regla graduada en cm. La materia fresca, se cuantificó al pesar tallo y hojas en una báscula Scout Pro SP401, OHAUS® (EUA) con una precisión de 0.01 g. La materia seca se obtuvo con la materia fresca cosechada secada en una estufa de aire circulante DHG9097A, Luzeren® (China), a 70 °C hasta peso constante. El área foliar se determinó con un medidor de área foliar LI-3100C, LI-COR® (EUA), expresado en cm<sup>2</sup>. También se cuantificó el contenido

relativo de clorofila (unidades SPAD), con un medidor portátil de clorofila SPAD 502 Plus, Minolta® (Japón), en hojas recientemente maduras y completamente extendidas que estaban ubicadas en el dosel medio de la planta.

### Concentración Nutricional Foliar

El muestreo para el análisis químico foliar se realizó a los 33 ddt. Se determinó N-total con el método micro Kjeldahl, P se determinó por la metodología de amarillo vanadato molibdato en un espectrofotómetro UV-Visible Genesys 20® (EUA). Ca y Mg se determinaron en un espectrofotómetro Varian modelo SpectrAA-50®, y K se determinó en un flamómetro modelo 410 Sherwood® (Inglaterra) (Cruz-Alvarez *et al.*, 2020).

### Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza y cuando hubo efecto de tratamiento se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). En todos los casos se empleó el programa de análisis estadístico de Statistical Analysis Software versión 9.1. (SAS, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Altura, Materia Fresca y Seca, Área Foliar y Lecturas SPAD

En altura de planta no hubo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 2). Estos resultados difieren con lo reportado por Jaborova, Ma, Bellingrath y Wirth (2021) quienes encontraron diferencias estadísticas en la altura de la planta de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) con aplicaciones de biocarbón de residuos de cereza (*Prunus serotina*) respecto al testigo. Por otro lado, Alburquerque *et al.* (2014) mencionan que no encontraron diferencias estadísticas en el crecimiento de girasol (*Helianthus annuus* L.) 'SH-25' con la aplicación de biocarbón de astilla de pino (*Pinus* sp.) y de restos de podas de olivo (*Oleo europaea*), lo cual puede deberse a la propia naturaleza del tipo de biocarbón, rico en carbono, pero relativamente pobre en nutrientes. Por otra parte, Pérez-Salas, Tapia, Soto y Benjamin (2013) aplicaron biocarbón de madera de melina (*Gmelina arborea*) en banano (*Musa* AAA) y reportaron un incremento de

**Cuadro 2. Altura, materia seca, área foliar y lecturas SPAD de albahaca tailandesa cultivadas en mezclas de biocarbón de ápices de caña de azúcar (BACA) a los 33 días después del trasplante.**

**Table 2. Height, dry matter, leaf area and SPAD readings of Thai basil grown on sugarcane top biochar (BACA) mixtures at 33 days after transplanting.**

Tratamiento	Altura	Materia seca	Área foliar	Lecturas SPAD
	cm	g	cm <sup>2</sup>	
Testigo	17.9 a*	1.8 b	132.8 b	38.5 a
BACA 7%	18.4 a	2.4 a	205.1 a	39.2 a
BACA 14%	17.5 a	2.2 ab	139.2 b	39.4 a
BACA 21%	17.5 a	2.0 ab	145.3 b	42.2 a
BACA 28%	17.2 a	2.0 ab	152.4 b	40.1 a
DMS	2.8	0.5	44.6	5.6
CV	8.2	11.1	14.8	7.2

\*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación.

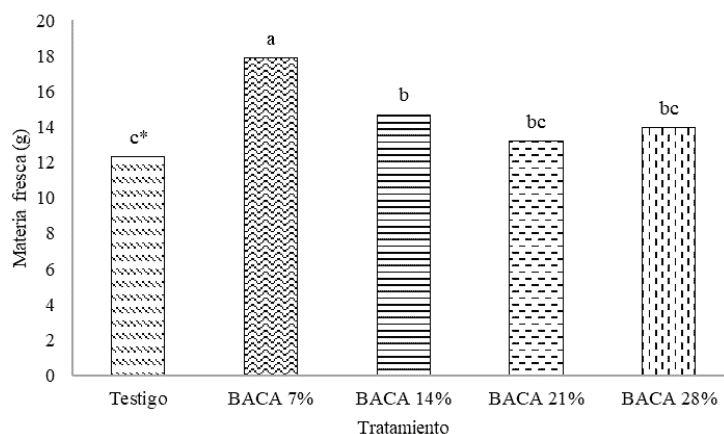
\*Different letters in the same column indicate significant differences, according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ); DMS = minimal significant difference; CV = coefficient of variation.

104% en altura de planta en comparación con el testigo. Al respecto, Azcón-Bieto y Talón (2013) mencionan que el crecimiento de las plantas está influenciado por varios factores que va desde la regulación génica hasta las condiciones edafoclimáticas.

En materia fresca hubo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos (Figura 1). El mejor tratamiento como medio de crecimiento fue el BACA 7% ya que produjo la mayor materia fresca con 17.9 g, que representa un incremento de 45.1% comparado con el testigo, el cual presentó el valor más bajo con 12.3 g, mientras que, los tratamientos BACA 14%, BACA 21% y BACA 28% fueron iguales ( $P \leq 0.05$ ). Estos resultados pueden deberse a que el biocarbón mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Moreno-Riascos y Ghneim-Herrera, 2020), además de mejorar la efectividad y aprovechamiento de los fertilizantes (Niola-Sornoza, Quevedo, García y Noles, 2021). También los tratamientos BACA 21% y BACA 28% fueron superiores al testigo. En este sentido, Silva, Fernandes, Colen y Sampaio (2017) al evaluar diferentes biocarbones a partir de cascarilla de arroz a 10%, aserrín 7% y sorgo ensilado 7% en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), reportaron que los biocarbones promovieron el crecimiento de las plantas de frijol al generar mayor número de vainas, número de granos, por tanto, mayor producción de materia seca en grano de frijol. Por su parte, Tenesaca-

Martínez, Quevedo y García (2020) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca* L.) clon Williams reportaron que las aplicaciones de biocarbón en dosis de 50 y 75 g más fertilización química (10 g de Yaramila Complex) por planta fueron las dosis adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas comparadas con el tratamiento control, mientras que dosis de 100 g de biocarbón retardó el crecimiento de las plantas.

Respecto a la materia seca en las plantas cultivadas en el BACA 7%, BACA 14%, BACA 21% y BACA 28% fueron iguales ( $P \leq 0.05$ ). Asimismo, se observa que los tratamientos BACA 14%, BACA 21% y BACA 28% estadísticamente son iguales al testigo. El tratamiento BACA 7% presentó el mayor valor obtenido para la producción de materia seca, es decir, incrementó 35.2% el peso de materia seca respecto al testigo quien obtuvo el menor valor con 1.8 g por planta (Cuadro 2). Los resultados obtenidos estuvieron influenciados por la composición química del biocarbón (Cuadro 1). Al respecto, Cuenca-Rivera, Quevedo y García (2019) mencionan que el uso del biocarbón como enmienda al suelo aumenta la retención de humedad, corrige el pH y reduce las pérdidas de nutrientes, ya que, el biocarbón tiene una alta capacidad para absorber y retener cationes de forma intercambiable, debido a su gran área superficial y a sus cargas negativas. En general, la materia seca de las plantas cultivadas en las mezclas de biocarbón estuvieron por encima de



**Figura 1. Peso de materia fresca de albahaca tailandesa cultivada en mezclas de biocarbón de ápices de caña de azúcar (BACA) a los 33 días después del trasplante.** \*Indica diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Figure 1. Fresh matter weight of Thai basil grown on sugarcane top biochar (BACA) mixtures at 33 days after transplanting.** \*Indicates significant differences, according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

los valores obtenidos por el testigo. En este sentido, Alburquerque *et al.* (2014) indican que el biocarbón tiene efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas, además, señala que podría utilizarse como reservorio de carbono en suelos agrícolas. No obstante, Carter, Shackley, Sohi, Boun y Haefele (2013) mencionan que es necesario realizar investigaciones a mediano y largo plazo.

En cuanto al área foliar, hubo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 2). Las plantas cultivadas en el tratamiento BACA 7% tuvieron mayor área foliar con 205.1 cm<sup>2</sup>, mientras que la menor área foliar se obtuvo en el testigo con 132.8 cm<sup>2</sup>, es decir, la dosis de 7% de biocarbón de ápices de caña de azúcar generó un aumento de 54.5% en el área foliar comparado con el testigo. Al respecto, Sánchez-Reinoso *et al.* (2020) mencionan que la aplicación de biocarbón como enmienda al suelo mejora las características físicas y químicas, incluyendo la fertilidad. Esto puede deberse a la interacción biocarbón-suelo que favorece el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Respecto al contenido de clorofila no hubo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en las lecturas SPAD en las hojas de albahaca en las condiciones del presente estudio (Cuadro 2). Los resultados encontrados en esta investigación se pueden deber a la eficiencia de la planta para absorber nutrientes en el suelo y el biocarbón (Cuadro 1), lo cual se vio reflejado en una mayor

producción de materia fresca, seca y área foliar como lo reportaron Tamayo-Aguilar *et al.* (2021) en cultivo de estragón (*Artemisia dracunculus*). Es importante mencionar que las plantas de albahaca tailandesa no observaron deficiencias nutrimentales; no obstante, en el caso del nitrógeno, se ha reportado que las lecturas SPAD se correlacionan con el contenido de clorofila foliar y que la concentración de nitrógeno en la planta se relaciona con la concentración de nitrógeno disponible en el suelo (Ribeiro da Cunha, Katz, de Pádua y Martínez, 2015; Mendoza-Tafolla *et al.*, 2019).

En resumen, las plantas cultivadas en mezcla de suelo con biocarbón al 7% presentaron los valores mayores en altura, materia fresca y seca, y área foliar, por lo tanto, es el tratamiento óptimo para producir albahaca tailandesa en las condiciones inherentes en que se desarrolló esta investigación.

### Concentración Nutrimental Foliar

En el análisis químico foliar hubo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos para N-total, P y Ca (Cuadro 3). La mayor concentración de N, P y Ca en las hojas se encontraron en el tratamiento BACA 21% con 44.3, 9.6 y 12.6 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Para el K y Mg no hubo diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, no existe una tendencia clara sobre la concentración nutrimental y la dosis del biocarbón



**Cuadro 3. Concentración nutrimental foliar en albahaca tailandesa cultivada con mezclas de biocarbón de ápices de caña de azúcar (BACA).****Table 3. Foliar nutrient concentration in Thai basil grown with mixtures of biochar from sugarcane tips (BACA).**

Tratamiento	N-total	P	K	Ca	Mg
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Testigo	30.4 c*	6.6 c	72.3 a	8.6 c	3.8 a
BACA 7%	38.0 abc	7.9 bc	80.0 a	11.1 abc	4.2 a
BACA 14%	40.3 ab	8.8ab	86.8 a	11.4 ab	4.1 a
BACA 21%	44.3 a	9.6 a	99.0 a	12.6 a	3.9 a
BACA 28%	35.7 bc	8.5 ab	71.9 a	9.4 bc	4.5 a
DMS	8.0	1.5	27.6	2.6	1.1
CV	7.8	7.0	12.5	9.2	10.1

\*Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); DMS= diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación.

\*Different letters in the same column indicate significant differences, according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ); DMS = minimal significant difference; CV = coefficient of variation.

mezclado al suelo. En general, el N, P, Ca y Mg en los tratamientos con biocarbón de ápices de caña de azúcar tuvieron valores por encima del testigo, con excepción del K. Estos resultados pueden deberse al contenido nutrimental del biocarbón (Cuadro 1); al respecto, Medina y Medina (2018) mencionan que la cantidad y dinámica de la liberación nutrimental de los biocarbones depende principalmente del tipo de biomasa, técnica empleada en su elaboración, así como de la temperatura de conversión.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es conveniente realizar más investigaciones en otras especies de plantas aromáticas para evaluar los beneficios potenciales del biocarbón en el crecimiento de cultivos de importancia económica.

### CONCLUSIONES

El biocarbón de ápices de caña de azúcar incorporado a dosis de 7% en un suelo franco arenoso mejora el crecimiento de plantas de albahaca tailandesa, expresado en el incremento de 45.1% en el peso de materia fresca, 35.2% en el peso de materia seca, así como 54.5% en el área foliar en comparación al testigo.

### DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

### CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

### DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

### FONDOS

No aplicable.

### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: P.J.L. y C.A.P.C. Metodología: P.J.L., C.A.P.C. y J.A.H. Análisis formal: I.A.T., R.C.B., L.A.V.A. y G.A.S. Investigación: I.A.T., D.A.C., R.C.B., G.A.S. y L.A.V.A. Recursos: P.J.L. y J.A.H. Escritura: preparación del borrador original: C.A.P.C. y P.J.L. Escritura: revisión y edición: C.A.P.C., P.J.L., D.A.C., y L.A.V.A. Supervisión: P.J.L. y J.A.H.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México) por la beca otorgada para sus estudios de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural (becario: 243072; CVU: 260303).

## LITERATURA CITADA

- Albuquerque, J. A., Calero, J. M., Barrón, V., Torrent, J., Campillo, M. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2014). Effect of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 16-25. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200652>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2da edición. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana de España.
- Atiphasaworn, P., Monggoot, S., Gentekaki, E., Brooks, S., & Pripdeevech, P. (2017). Antibacterial and antioxidant constituents of extracts of endophytic fungi isolated from *Ocimum basilicum* var. *thyrsoflora* Leaves. *Current Microbiology*, 74(10), 1185-1193. <https://doi.org/10.1007/s00284-017-1303-1>
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Boun-Suy, T., & Haeefe, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404-418. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020404>
- Ceccagno, H., Souza, P. V. D., Schafer, G., Demari-Ayrella, E., Fior, C. S., & Schwarz, S. F. (2019). Potential of *pinus* sp. needles for use as substrate conditioners in the production of 'Trifoliata' rootstock in greenhouses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(1), 5-16. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.003>
- Cruz-Alvarez, O., Hernández-Rodríguez, A. O., Jacobo-Cuellar, J. L., Ávila-Quezada, G., Morales-Maldonado, E., Parra-Quezada, R. A., Robles-Hernández, L., & Ojeda-Barrios, D. L. (2020). Nitrogen fertilization in pecan and its effect on leaf nutrient concentration, yield and nut quality. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(3), 163-173. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2019.10.021>
- Cuenca-Rivera, J. A., Quevedo-Guerrero, J. N., & García-Batista, R. M. (2019). Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 6-11.
- Escalante-Rebolledo, A., Pérez-López, G., Hidalgo-Moreno, C., López-Collado, J., Campos-Alves, J., Valtierra-Pacheco, E., & Etchevers-Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- Jaborova, D., Ma, H., Bellingrath-Kimura, S. D., & Wirth, S. (2021). Impacts of biochar on basil (*Ocimum basilicum*) growth, root, morphological traits, plant biochemical and physiological properties and soil enzymatic activities. *Scientia Horticulturae*, 290, 110518. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110518>
- Liu, D., Feng, Z., Zhu, H., Yu, L., Yang, K., Yu, S., Zhang, Y., & Guo, W. (2020). Effects of corn straw biochar application on soybean growth and alkaline soil properties. *BioResources*, 15(1), 1463-1481.
- Manolikaki, I., & Diamadopoulos, E. (2019). Positive effects of biochar and biochar-compost on maize growth and nutrient availability in two agricultural soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(5), 512-526. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1566468>
- Medina O., L. E., & Medina O., I. N. (2018). Prototipo autotérmico móvil para la producción de biocarbón con biomasa de esquilmos de aguacate. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 121-129. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.217>
- Mendoza-Tafolla, R. O., Juárez-López, P., Ontiveros-Capurata, R. E., Sandoval-Villa, M., Alía-Tejagal, I., & Alejo-Santiago, G. (2019). Estimating nitrogen and chlorophyll status of romaine lettuce using SPAD and Leaf readings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanice Cluj-Napoca*, 47(3), 751-756. <http://doi.org/10.15835/nbha47311525>
- Moreno-Riascos, S., & Gheim-Herrera, T. (2020). Impact of biochar use on agricultural production and climate change. A review. *Agronomía Colombiana*, 38(3), 367-381. <https://doi.org/10.15446/AGRON.COLOMB.V38N3.87398>
- Niola-Sornoza, J. C., Quevedo-Guerrero, J. N., García-Batista, R. M., & Noles-León, M. J. (2021). Efectos de dos enmiendas edáficas sobre parámetros agronómicos de producción en banano (*Musa X paradisiaca* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 104-118.
- Orozco-Gutiérrez, G., & Lira-Fuentes, R. C. (2020). Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos proveniente de las podas de bambú (*Guadua angustifolia*). *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 7(1), 1-9.
- Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alía-Tejagal, I., Salcedo-Pérez, E., Guillén-Sánchez, D., ... Castro-Brindis, R. (2021). Caracterización química de biocarbón de ápices de caña de azúcar elaborado mediante carbonización hidrotérmica y la adición de catalizadores orgánicos. *Terra Latinoamericana*, 39(1), 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.936>
- Pérez-Salas, R., Tapia-Fernández, A. C., Soto, G., & Benjamin, T. (2013). Efecto del bio-carbón sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* y el desarrollo de plantas de banano (*Musa* AAA). *InterSedes: Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica*, 14(27), 66-100.
- Puentes-Escobar, T. C., & Rodríguez-Carlosama, A. (2021). Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(2), 1-13. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7540>
- Ramírez-Aragón, M. G., Borroel-García, V. J., Salas-Pérez, L., López-Martínez, J. D., Gallegos-Robles, M. A., & Trejo-Escareño, H. I. (2019). Ácido rosmarínico, fenólicos totales y capacidad antioxidante en tres variedades de *Ocimum basilicum* L. con diferentes dosis de potasio. *Polibotánica*, 47, 89-98. <http://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.47.7>
- Ribeiro da Cunha, A., Katz, I., de Pádua S., A., & Martínez U., R. A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia*, 33(2), 97-105. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000200012>

- Rodríguez-Solís, A., Badilla-Valverde, Y., & Moya, R. (2021). Agronomic effects of *Tectona grandis* biochar from wood residues on the growth of young *Cedrela odorata* plants in a nursery. *Agronomy*, 11(10), 2079. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102079>
- 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.
- Sánchez-Reinoso, A. D., Ávila-Pedraza, E. A., & Restrepo-Díaz, H. (2020). Use of biochar in agriculture. *Acta Biológica Colombiana*, 25(2), 327-338. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n2.79466>
- SAS Institute. (2003). *Statistical Analysis System. SAS Release 9.1*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca). (2020). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Consultado el 10 de noviembre, 2020, desde <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Silva, I. C. B., Fernandes, L. A., Colen, F., & Sampaio, R. A. (2017). Growth and production of common bean fertilized with biochar. *Ciência Rural*, 47(11), 1-8.
- Sumaira, H., Khan, T., Abbasi, B. H., Afridi, M. S., Tanveer, F., Ullah, I., Bashir, S., & Hano, C. (2017). Melatonin-enhanced biosynthesis of antimicrobial AgNPs by improving the phytochemical reducing potential of a callus culture of *Ocimum basilicum* L. var. *Thyrsoflora*. *Avances del Royal Society of Chemistry*, 7(1), 38699-38713. <https://doi.org/10.1039/C7RA05044E>
- Tamayo-Aguilar, Y., Juárez-Lopez, P., Chavez-Garcia, J. A., Alia-Tejagal, I., Guillen-Sanchez, D., Perez-Gonzalez, J. O., ... Baque-Fuentes, O. (2021). Beneficial microorganisms enhance the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) under greenhouse conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanice Cluj-Napoca*, 49(4), 12452. <https://doi.org/10.15835/nbha49412452>
- Tenesaca-Martínez, S., Quevedo-Guerrero, J. N., & 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.
- Velázquez-Maldonado, J., Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alejo-Santiago, G., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejagal, I., ... Guillén-Sánchez, D. (2019). Concentración nutricional de biocarbón de cascarilla de arroz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 129-136.
- Videgain-Marco, M., Marco-Montori, P., Martí-Dalmau, C., Jaizme-Vega, M. C., Manyà-Cervelló, J. J., & García-Ramos, F. J. (2020). Effects of biochar application in a sorghum crop under greenhouse conditions: growth parameters and physicochemical fertility. *Agronomy*, 10(1), 104. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010104>