

Biocarbón de ápices de caña de azúcar en el crecimiento inicial de pepino

Porfirio Juárez-López¹
Carlos Alberto Pérez-Cabrera^{2,§}
José Anzaldo-Hernández³
Irán Alia-Tejacal¹
Eduardo Salcedo-Pérez⁴
Víctor López-Martínez¹

1 Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Cuernavaca, Morelos, México. CP. 62210. (porfirio.juarez@uaem.mx; iran.alia@uaem.mx; victor.lopez@uaem.mx).

2 Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Av. Vicente Guerrero 81, Primer Piso, Col. Centro, Iguala de la Independencia, Guerrero. CP. 40000.

3 Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías-Universidad de Guadalajara. Blvd. Marcelino García Barragán 1421, Olímpica, Guadalajara, Jalisco, México. CP. 44430. (jose.anzaldo@academicos.udg.mx).

4 Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Universidad de Guadalajara. Ramón Padilla Sánchez 2100, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. CP. 45200. (eduardo.salcedo@academicos.udg.mx).

Autor para correspondencia: carlos.perez@csaegro.edu.mx.

Resumen

Uno de los principales usos del biocarbón o biochar es como mejorador de suelos; sin embargo, existen escasos estudios acerca de su uso como sustrato con la intención de reducir el empleo de turba comercial. Se evaluó el efecto de las propiedades físicas del biocarbón de ápices de caña de azúcar en el crecimiento de plántulas de pepino 'Thunderbird'. Los tratamientos fueron mezclas de Baca y turba (T): 0/100, 20/80, 40/60, 60/40, 80/20 y 100/0 v/v. La siembra se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y se evaluaron propiedades físicas de los sustratos y variables de crecimiento en plántulas de pepino con un diseño experimental completamente al azar y bloques al azar, respectivamente. La turba produjo el mayor crecimiento de plántulas; por otro parte, las proporciones 20Baca:80T y 40Baca:60T permitieron un buen desarrollo radical al presentar un peso fresco de raíz con 607.83 y 664.83 mg, mientras que, en peso seco de raíz tuvieron 39.83 y 37.33 mg, respectivamente, valores similares a los obtenidos en la turba, estos resultados estuvieron relacionados con las propiedades físicas de esas mezclas donde el tamaño de partícula determinó el espacio poroso disponible para agua y aire. El biocarbón de ápices de caña de azúcar se puede adicionar hasta 40% a la turba comercial sin alterar las propiedades físicas de un sustrato ideal; asimismo, las mezclas de 20 y 40% de biocarbón con turba, permiten el crecimiento de raíces de las plántulas de pepino similares a los obtenidos en la turba comercial.

Palabras clave:

Cucumis sativus L., biochar, propiedades físicas, sustrato.

[License \(open-access\)](#): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) pertenece a la familia Cucurbitaceae y es una de las hortalizas que su producción se exporta en más del 90% a los Estados Unidos de América, con ello, se genera una alta derrama económica en los estados productores, derivado de la mano de obra (150 jornales ha^{-1}) que se requiere para el manejo de cultivo (Rebollar-Rebollar *et al.*, 2022). En el año 2023, en México se sembraron 4 651.2 ha bajo agricultura protegida (invernadero, malla sombra y macro túnel) con un valor de producción de \$4 845 188 340.00.

Este cultivo se siembra en 22 estados de la República Mexicana, con un rendimiento promedio de 111.59 t ha^{-1} (SIAP, 2024). El biocarbón es un material sólido-poroso que se obtiene por procesos de pirólisis, carbonización hidrotérmica, carbonización por microondas, gasificación y torrefacción con alto contenido de carbono (Ortega-Ramírez y Olaya-Pulido, 2022; Ravindiran *et al.*, 2024), la materia prima utilizada para su elaboración son principalmente residuos vegetales, forestales, lodos industriales y residuos municipales; tales como: podas de jardín, desmonte de terrenos, tarimas y embalajes de maderas (Adeyemi y Idowuo, 2017; Velázquez-Maldonado *et al.*, 2019).

Las características físicas y químicas del biocarbón están determinadas por factores como la composición de la materia prima, intervalo de calentamiento, temperatura y presión del reactor, y el uso de catalizadores según la técnica empleada en su elaboración (Escalante-Rebolledo *et al.*, 2016; Arévalo-Ortega *et al.*, 2023).

El uso más conocido del biocarbón es como mejorador de suelo; su adición puede influir en sus propiedades físicas como textura, estructura, distribución del tamaño de poro, porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad y densidad aparente, así como, favorecer el desarrollo de microorganismos, e influye positivamente al aumentar la capacidad de intercambio catiónico, retención de nutrientes, mejora el balance del pH y aporta materia orgánica (Orozco-Gutiérrez *et al.*, 2021; Arévalo-Ortega *et al.*, 2023).

Por otro lado, la producción de plántulas en charolas es una de las etapas más importantes en la producción de cultivos hortícolas, ya que reduce la pérdida de plántulas y se obtienen plantas sanas, vigorosas y con un crecimiento uniforme, lo que coadyuva a generar rendimientos óptimos. En este contexto, Villegas-Torres *et al.* (2017); Castro-Garibay *et al.* (2020) mencionan que la turba (peat moss) o mezclas especiales son los sustratos orgánicos más utilizados para la germinación de semillas, debido a sus propiedades físicas y químicas que favorecen el proceso germinativo, el crecimiento y el desarrollo de las plántulas; sin embargo, las mezclas comerciales de germinación como el Sunshine mix 3 tiene elevados costos debido a que es un producto que se importa de Canadá.

En este sentido, el uso de biocarbón puede ser una opción para reducir el uso de turba comercial como sustrato, porque ha mostrado resultados favorables en la producción de hortalizas en función del origen y procesamiento del biocarbón y de la especie vegetal (Huang y Gu, 2019; Guo, 2020); por lo tanto, es necesario evaluar el uso de residuos agrícolas para la producción de plántulas de hortalizas que permitan sustituir parcialmente la turba comercial. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de las propiedades físicas del biocarbón de ápices de caña de azúcar en el crecimiento de plántulas de pepino 'Thunderbird'.

Materiales y métodos

La investigación se dividió en dos etapas: la primera se realizó durante abril de 2019, consistió en la caracterización física de la turba (T), biocarbón de ápices de caña de azúcar (Baca) y mezclas de ambos materiales; además, se determinó la concentración nutrimental de la turba y el biocarbón. Esta etapa se desarrolló en el Laboratorio de Suelos de la División Académica

de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACA-UJAT). La segunda etapa, consistió en evaluar la turba, el biocarbón y las mezclas de ambos materiales en el crecimiento de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) 'Thunderbird', y se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (FCA-UAEM).

Determinación de las propiedades físicas y químicas

Para la caracterización de las propiedades físicas se evaluaron seis tratamientos, se utilizó la mezcla comercial Sunshine mix 3 como testigo (T1:T). Por otra parte, se elaboró biocarbón de ápices de caña de azúcar con la técnica de carbonización hidrotérmica (HTC, por sus siglas en inglés) a 200 °C con la adición de ácido cítrico al 10% como catalizador mediante la metodología descrita por Velázquez-Maldonado *et al.* (2019) (T2: BACA) y con ambos materiales se realizaron mezclas v/v en las siguientes proporciones: 20Baca:80T (T3), 40Baca:60T (T4), 60Baca:40T (T5) y 80Baca:20T (T6).

Granulometría. Se utilizó una muestra compuesta de 800 cm³ y se tamizó con una tamizadora eléctrica con tamices (Mont-Inox y Ficsa de CV) número 8, 10, 12, 16, 20 y 50 (2.38, 1.68, 1.41, 1.15, 0.86 y 0.24 mm respectivamente) con un tiempo de agitación de tres min, se pesó el contenido de las mezclas de cada tamiz y se calculó el porcentaje por tamaño de partícula.

Densidad aparente (DA). Se utilizaron permeámetros de unícel con capacidad de 232 ml. Las mezclas se saturaron con agua corriente por 24 h; después se colocaron en los permeámetros y se secaron a 65 °C hasta peso constante. La densidad aparente (DA) se calculó con la fórmula: $DA = \text{peso del sustrato seco (g)} / \text{volumen total (cm}^3\text{)}$. La porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y porosidad de retención de humedad (PRH) se determinaron con el procedimiento descrito por Landis *et al.* (1990).

Concentración nutrimental. Se determinó para el biocarbón de ápices de caña de azúcar y la turba comercial, nitrógeno (N) con el método micro Kjeldahl, fósforo (P), con amarillo de molibdato vanadato. K, Ca y Na mediante la flamometría y Mg por espectrofotometría, según la Norma Oficial Mexicana Proy-Nom-021-Recnat-2000 (DOF, 2000). En la primera etapa, se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones para determinar las propiedades físicas (DA, PT, PA y PRH) y químicas de las mezclas de sustratos evaluados.

Evaluación de mezclas de biocarbón con turba en invernadero

Esta etapa se desarrolló en un invernadero tipo túnel de la FCA-UAEM. La temperatura y humedad relativa promedio del invernadero fue de 28.5°C y 65% respectivamente, las cuales se registraron con un datalogger (U12, Hobo®). Se utilizaron charolas de germinación de poliestireno de 200 cavidades con capacidad de 20.5 ml por cavidad y se usaron semillas de pepino 'Thunderbird' (Seminis®). Desde la siembra, 25 de junio de 2019 y durante el crecimiento de las plántulas se regaron manualmente con agua purificada por ósmosis inversa.

A los 23 días después de la siembra, 18 de julio de 2019, se midieron las siguientes variables: longitud de tallo, desde la base del tallo hasta el ápice, con regla convencional graduada en cm; peso fresco de biomasa aérea y de raíz, pesando cada órgano por separado, en una báscula Ohaus® con aproximación de 0.01 g, peso seco de biomasa aérea y de raíz, al secar la biomasa fresca de tallo, hoja y raíz en una estufa de aire circulante Luzeren® modelo Pro1002498 a 70 °C hasta peso constante.

El área foliar se midió con un medidor de área foliar Li-Cor® modelo LI-3100C. Lincoln, Nebraska, EUA, expresado en cm². En la segunda etapa, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con seis repeticiones y 10 plántulas como unidad experimental.

Análisis estadístico

Para asegurar la normalidad, los datos expresados en porcentaje se transformaron con la raíz cuadrada del arcoseno. Se realizó un análisis de varianza y cuando hubo diferencias estadísticas se sometieron a una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el programa Statistical Analysis Software (SAS Institute, 2004).

Resultados y discusión

Determinación de las propiedades físicas y químicas

El mayor porcentaje acumulado del tamaño de partículas de 0.24 hasta 0.86 mm, se obtuvo en el biocarbón de ápices de caña de azúcar (T2) con 83.37%, mientras que la turba (T1) presentó la menor distribución de este rango de partícula (71.63%) (Cuadro 1). Por otra parte, tamaños de partículas mayores a 0.86 y hasta 2.38 mm, se localizaron en T1 con 21.36% y la menor distribución se encontró en T6 (80Baca:20T) con 12.38%. Asimismo, T1 tuvo los mayores porcentajes de tamaños de partículas superiores a 2.38 mm (7.01%) y el menor valor lo presentó T2 (3.84%).

Cuadro 1. Distribución granulométrica (porcentual con base a peso) en turba (T), del biocarbón de ápices de caña de azúcar (Baca) y la mezcla de ambos.

Tratamiento	Tamaño de partículas (mm)					
	<0.24	0.24-0.86	0.86-1.15	1.15-1.68	1.68-2.38	>2.38
T1 (100T)	32.31	39.32	8.38	9.07	3.9	7.01
T2 (100Baca)	37.92	45.45	6.21	4.7	1.87	3.84
T3 (20Baca:80T)	29.36	43.42	8.39	8.86	3.55	6.43
T4 (40 Baca:60T)	33.25	42.76	7.41	7.77	3.18	5.64
T5 (60 Baca:40T)	44.61	37.02	4.58	5.69	2.84	5.27
T6 (80 Baca:20T)	45.97	35.9	4.53	5.21	2.63	5.76

En general, se observó que la distribución del tamaño de partículas se afectó con la combinación de los materiales individuales. Es decir, al aumentar los porcentajes de biocarbón en la mezcla los porcentajes acumulados de partículas <0.86 mm aumentaron, mientras que, la distribución de partículas en un rango de 0.86 a 2.38 mm y >2.38 mm disminuyeron al aumentar los porcentajes de biocarbón.

En contraste con estos resultados, Pérez-Cabrera *et al.* (2021) mencionan que al aumentar los porcentajes de biocarbón de arroz, el tamaño de las partículas de la mezcla aumentó; esta diferencia se debe a la composición físicoquímica de los materiales originales utilizados en la elaboración del biocarbón, lo que genera la descomposición del material vegetal en diferentes tamaños de partículas.

De acuerdo con la clasificación de Castro-Garibay *et al.* (2020) las mezclas evaluadas se clasifican como finas ya que presentan más del 70% de partículas menores a 0.8 mm. Asimismo, estos autores mencionan que las partículas <0.8 mm tienen mayor capacidad de retener agua en comparación con partículas gruesas (>0.8 mm); no obstante, Gayosso *et al.* (2018) mencionan que la distribución del tamaño de partículas no determina la capacidad de retención de agua en un medio de cultivo, sino que además intervienen otras características físicas que permiten la contención de agua en el sustrato.

En este sentido, Gutiérrez-Castorena *et al.* (2011) indican que el movimiento del agua en los medios de cultivos depende de los poros intra e inter partículas formados principalmente por el empaquetamiento, distribución, tamaño, acomodo y forma de las partículas de un sustrato o mezcla de sustratos.

Como consecuencia del acomodo y el empaquetamiento de las partículas, la porosidad total (PT) se vio afectada por la mezcla de los materiales individuales; este parámetro disminuyó al aumentar los porcentajes de biocarbón porque el tamaño el 83.37% de sus partículas estaban compuestas de tamaños de menores a 0.86 mm. La PT de T1 (100T) y T3 (20 Baca:80T) fueron estadísticamente iguales (Cuadro 2); mientras que T3, T4 (40 Baca:60T) y T5 (60 Baca:40T) no presentaron diferencias estadísticas entre sí ($p \neq 0.05$).

Cuadro 2. Propiedades físicas de la turba (T), del biocarbón de ápices de caña de azúcar (Baca) y la mezcla de ambos.

Tratamiento	PT (%)	PA (%)	PRH (%)	DA (g cm ⁻³)
T1 (100T)	88.47 a	12.61 ab	75.86 a	0.12 c
T2 (100Baca)	67.07 c	8.97 ab	58.1 c	0.15 a
T3 (20Baca:80T)	82.16 ab	14.07 a	68.09 b	0.12 bc
T4 (40Baca:60T)	79.87 b	12.9 ab	66.97 b	0.13 bc
T5 (60Baca:40T)	76.83 b	7.22 b	69.61 b	0.13 b
T6 (80Baca:20T)	65.2 c	6.65 b	58.55 c	0.15 a
CV (%)	1.81	12.14	1.53	1.83

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes entre tratamientos (Tukey, 0.05). PT= porosidad total; PA= porosidad de aireación; PRH= porosidad de retención de humedad; DA= densidad aparente; CV= coeficiente de variación.

Los valores más bajos de PT se presentaron en los tratamientos con 100 y 80% de biocarbón (T2 y T6) con 67.07 y 65.2% respectivamente. La misma tendencia fue reportada por Webber *et al.* (2017) en ceniza de bagazo de caña de azúcar mezclado con turba (Sun Gro Horticulture) donde el espacio poroso osciló de 64.56 a 59.98% al aumentar de 25% hasta 75% la proporción de ceniza de bagazo de caña.

Sin embargo, Webber *et al.* (2018) reportaron que la mezcla 25:75% biocarbón de bagazo de caña de azúcar con turba (Sun Gro Horticulture) presentó 5.61% más espacio poroso que 100% turba comercial con 71.18%. Al respecto, Escalante-Rebolledo *et al.* (2016) indican que la materia prima y las técnicas termoquímicas utilizadas en la elaboración del biocarbón, determinan sus características físicas y químicas.

En porosidad de aireación (PA) T1, T2, T3 y T4, no presentaron diferencias significativas ($p \neq 0.05$); no obstante, el tratamiento T3 fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) a los tratamientos T5 y T6 quienes presentaron los menores porcentajes de porosidad de aireación (7.22 y 6.65% respectivamente). Por otra parte, la porosidad de retención de humedad (PRH) de T1 fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) al resto de las mezclas.

Estos resultados fueron similares a los reportados por Villegas-Torres *et al.* (2017) quienes reportan que la mezcla comercial Sunshine3 presentó una PT de 84.11%, PA de 14.59%, CRH de 69.53% y DA de 0.11 g cm⁻³. También, Mixquititla-Casbis *et al.* (2022) encontraron que la turba presentó los valores más altos en PT, PA y CRA con 77.53, 18.21 y 59.32%, respectivamente. Por otra parte, las mezclas T3 y T4 cumplieron con los parámetros de un sustrato ideal al presentar por encima del 70% de PT, más de 10% de porosidad de aireación y retención de humedad superior a 55% (Castro-Garibay *et al.*, 2020; Mixquititla-Casbis *et al.*, 2022).

En las mezclas con biocarbón la porosidad total, la porosidad de aireación y la porosidad de retención de humedad disminuyeron al aumentar el porcentaje de biocarbón, esto puede deberse a la distribución granulométrica de los tratamientos presentados en el Cuadro 1, lo que generó una disminución del espacio poroso debido al tamaño de partícula (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2018a).

Resultados similares fueron reportados por Webber *et al.* (2017) quienes mencionan que las propiedades físicas como: el espacio poroso, la saturación de agua y la capacidad de campo de mezclas de cenizas de bagazo de caña de azúcar disminuyeron al aumentar los porcentajes de biocarbón en la mezcla.

La densidad aparente (DA) presentó diferencias significativas ($p \neq 0.05$) entre tratamientos, esta variable aumentó conforme aumentó el contenido de biocarbón en la mezcla. En relación con esto, las mezclas T1 y T3 tuvieron una DA de 0.12 g cm^{-3} , mientras que T2 y T6 presentaron los valores más altos con 0.15 g cm^{-3} . Resultados similares fueron reportados por Webber *et al.* (2017) al mezclar turba con cenizas de bagazo de caña de azúcar DA aumentó al aumentar también los porcentajes de biocarbón; por el contrario, Webber *et al.* (2018) reportaron DA de 0.11 g cm^{-3} en turba y al mezclar con biocarbón de bagazo de caña de azúcar la DA disminuyó.

Al respecto, Barbaro (2023) indica que la densidad aparente debe ser inferior a 0.4 g cm^{-3} para facilitar la mezcla de los sustratos, además, una baja DA facilita las labores de cargado y traslado de los recipientes a su lugar definitivo. La densidad aparente del biocarbón muestra que hay mayor material sólido que deja menos espacio poroso para el aire y el agua. En relación con la concentración nutrimental, hubo diferencias ($p \leq 0.05$) en los elementos N, P, K, Mg y Na (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración nutrimental de la turba y del biocarbón de ápices de caña de azúcar.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Na
	(mg kg ⁻¹)					
Turba	7 513.3 b	2 166.8 b	6 085.9 a	3 549.1 a	23 917 a	1 022.2 a
Biocarbón	2 5316.7 a	2 687.7 a	1 564.1 b	2 218.4 a	7 069 b	368.9 b
CV (%)	10.4	4.1	14.9	23.1	9	21.2

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes entre tratamientos (Tukey, 0.05). CV= coeficiente de variación.

La mayor concentración de N y P se encontró en el biocarbón de ápices de caña de azúcar con 25 316.7 y 2 687.7 mg kg⁻¹, respectivamente, estos valores representan 236.9% de N y 24% de P más que en la turba; sin embargo, el contenido de K, Mg y Na fue mayor en la turba, que en términos de porcentaje significan incrementos de 289.1, 238.3 y 177.1%, respectivamente.

Para el elemento Ca no hubo diferencias ($p \leq 0.05$). Los altos valores en la concentración nutrimental de la turba pueden deberse a que contiene dolomita agrícola que le confiere calcio y magnesio según lo reportado por Calva y Espinoza (2017). No obstante, la concentración nutrimental del biocarbón de ápices de caña de azúcar fue más alta a la reportada por Velázquez-Maldonado *et al.* (2019) quienes en biocarbón de cascarilla de arroz encontraron de 3 133 a 4 467 mg kg⁻¹ de N, de 215 a 849 mg kg⁻¹ de P, de 327 a 1 117 mg kg⁻¹ de K y de 554 a 1 447 mg kg⁻¹ de Mg, con excepción del Ca cuya concentración fue más elevada a la encontrada en la presente investigación.

Evaluación de mezclas de biocarbón con turba en invernadero

La turba comercial fue el mejor medio de crecimiento para las plántulas de pepino en longitud de tallo, peso fresco de biomasa aérea, área foliar y peso seco de biomasa aérea (Cuadro 4). En contraste, Webber *et al.* (2018) reportaron mayor altura, peso fresco y seco en plántulas de calabaza (*Cucurbita pepo* var. Enterprise) y melón (*Cucumis melo* var. Magnum 45) con mezclas de biocarbón de bagazo de caña y turba al 25 y 50%, y concluyeron que las proporciones mencionadas anteriormente son excelentes para la producción de plántulas de cucurbitáceas sin reducir la producción.



Cuadro 4. Efecto de mezclas de la turba (T) y del biocarbón de ápices de caña de azúcar (BCA) en el crecimiento de plántulas de pepino.

Tratamiento	LT (cm)	PFBA (mg)	PFBR (mg)	AF (cm ²)	PSBA (mg)	PSBR (mg)
T1 (100T)	3.13 a	1043.5 a	722 a	11.59 a	206 a	46.67 a
T2 (100Baca)	1.28 d	240.83 e	151 d	2.91 d	31.5 e	13.5 d
T3 (20BBaca:80T)	2.27 b	592.67 b	607.83 ab	6.02 b	104.67 b	39.83 a
T4 (40Baca:60T)	2.10 b	547.83 bc	664.83 a	5.57 bc	96.5 b	37.33 ab
T5 (60BBaca:40T)	1.63 c	429.5 cd	417.5 bc	4.48 c	72 c	27.67 bc
T6 (80Baca:20T)	1.55 c	337.17 d	286.33 c	2.86 d	52.17 d	20 cd
CV (%)	10.31	1.27	2.1	5.18	1.59	19.32

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes entre tratamientos (Tukey, 0.05). LT= longitud de tallo; PFBA= peso fresco de biomasa aérea; PFBR= peso fresco de biomasa de raíz; AF= área foliar; PSBA= peso seco de biomasa aérea; PSBR= peso seco de biomasa de raíz; CV= coeficiente de variación.

Por su parte, Webber *et al.* (2017) evaluaron mezclas de ceniza de bagazo de caña y turba para el cultivo de plántulas de frijol, encontrando mayor longitud de tallo en plantas cultivadas en ceniza al 100% y con la mezcla 25/75, mientras que el mayor peso fresco y seco total de la plántula se encontró con la mezcla 25/75. Estos mismos autores encontraron que en plántulas de col rizada la mayor longitud de hoja, peso fresco y seco total de la plántula se reportó con la mezcla 25/75.

Las mezclas T3 y T4 fueron los mejores medios de crecimiento para las plántulas de pepino, después de la turba. Los tratamientos T3 y T4 registraron plántulas más altas, peso fresco de biomasa aérea y de raíz, área foliar, peso seco de biomasa aérea y de raíz en comparación con los tratamientos T5, T6 y T2. Estos resultados se pueden atribuir a las propiedades físicas de los sustratos donde el tamaño de partículas determinó el espacio poroso y en consecuencia la retención de humedad.

Si bien las plántulas producidas en los tratamientos T3 y T4 no fueron las de mayor crecimiento aéreo, el peso fresco de raíz fue igual ($p \leq 0.05$) al T1 (722 mg) al obtener valores similares al testigo con 607.83 y 664.83 mg, respectivamente. Asimismo, en el peso seco de raíz no se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) entre los T1, T3 y T4 con valores de 46.67, 39.83 y 37.33 mg, respectivamente. Al respecto, Araméndis-Tatis *et al.* (2013) mencionan que las propiedades físicas y químicas de los sustratos tales como aireación, contenido de agua y disponibilidad de nutrimentos influyen en el crecimiento de las raíces.

En este sentido, Montañó-Mata *et al.* (2018) mencionan que los productores prefieren plántulas con un sistema de raíz desarrollado para evitar que el sustrato pierda su estructura al retirar las plántulas de la charola de germinación y de esta manera facilitar el trasplante. Asimismo, Cuesta y Mondaca (2014) indican que los productores de plántulas buscan un buen desarrollo de raíz y una biomasa aérea relativamente poco desarrollada para evitar la deshidratación y el acame al momento del trasplante.

Conclusiones

El biocarbón de ápices de caña de azúcar se puede adicionar hasta 40% a la turba comercial sin alterar los parámetros para un sustrato ideal en porosidad total, porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad y densidad aparente; asimismo, las mezclas de 20 y 40% de biocarbón con turba, permiten el crecimiento de raíces de las plántulas de pepino similares a los obtenidos en la turba comercial.

Agradecimientos

El autor de correspondencia agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada para sus estudios de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. Becario: 243072; CVU: 260303.

Bibliografía

- 1 Adeyemi, T. O. A. and Idowu, O. D. 2017. Biochar: Promoting crop yield, improving soil fertility, mitigating climate change and restoring polluted soils. *Word News of Natural Sciences*. 8(1):27-36.
- 2 Araméndis-Tatis, H.; Cardona-Ayala, C. y Correa-Álvarez, E. 2013. Efecto de diferentes sustratos en la calidad de plántulas de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 7(1):55-61.
- 3 Arévalo-Ortega, J.; Ynfante-Martínez, D.; Hernández-Ochandía, D.; Alonso-de la Cruz, R. y Rodríguez-Hernández, M. 2023. Efecto de biocarbones y *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare y Gams en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y la protección frente a nematodos. *Revista de Protección Vegetal*. 38(1):1.8. <https://cu-id.com/2247/v38e15>.
- 4 Barbaro, L. A. 2023. Evaluación de las propiedades físicas del sustrato para la producción de plántulas de yerba mate. *Ciencia del Suelo*. 41(2):131-143.
- 5 Calva, C. E. H. y Espinosa, J. V. R. 2017. Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*. 4(1):110-120.
- 6 Castro-Garibay, S. L.; Aldrete, A.; López-Upton, J. y Ordaz-Chaparro, V. M. 2020. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y Bosques*. 25(2):1-10. 10.21829/myb/2019.2521520.
- 7 Cuesta, G. y Mondaca, E. 2014. Efecto de un biorregulador a base de auxinas sobre el crecimiento de plántulas de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 20(2):215-222. 10.5154/r.rchsh.2014.01.001.
- 8 DOF. 2000. Diario Oficial de la Federación. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000. Estudios, muestreos y análisis. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo DLXV-12:6-74.
- 9 Escalante-Rebolledo, A.; Pérez-López, G.; Hidalgo-Moreno, C.; López-Collado, J.; Campos-Alves, J.; Valtierra-Pacheco, E. y Etchevers-Barra, J. D. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*. 34(2):367-382. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57346617009>.
- 10 Gayosso-Rodríguez, S.; Borges-Gómez, L.; Villanueva-Couih, E.; Estrada-Botello, M. A. y Garruña-Hernández, R. 2018. Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia*. 52(4):639-652.
- 11 Gayosso-Rodríguez, S.; Villanueva-Couih, E.; Estrada-Botello, M. A. y Garruña-Hernández, R. 2018a. Caracterización físico-química de mezclas de residuos orgánicos utilizados como sustratos agrícolas. *Bioagro*. 30(3):179-190.
- 12 Guo, M. 2020. The 3R principles for applying biochar to improve soil health. *Soil Systems* 4(1):1-16. 10.3390/soilsystems4010009.
- 13 Gutiérrez-Castorena, M. C.; Hernández-Escobar, J.; Ortiz-Solorio, C. A.; Anicua-Sánchez, R. y Hernández-Lara, M. E. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17(3):183-196.

- 14 Huang, L. and Gu, M. 2019. Effects of biochar on container substrate properties and growth of plants a review. *Horticulturae*. 5(1):2-25. [10.3390/horticulturae50100147](https://doi.org/10.3390/horticulturae50100147).
- 15 Landis, T. D.; Tinus, R. W.; Mc Donald, S. E. and Barnett, J. P. 1990. Containers and growing media, Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbook 674. USDA Washington, DC, USA. Department of Agriculture, Forest Service. 88 p.
- 16 Mixquitilla-Casbis, G.; Villegas-Torres, O. G.; Andradre-Rodríguez, M. y Sotelo-Nava, H. 2022. Propiedades físicas y químicas de sustratos en función de su granulometría y componente orgánico-mineral. *Acta Agrícola y Pecuaria*. 8(1):1-9. <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081007>.
- 17 Montaña-Mata, N. J.; Gil-Marín, J. A. y Palmares, Y. 2018. Rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) en función del tipo de bandeja y la edad de transplante de las plántulas. *Anales Científicos*. 79(2):377-385. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.1247>.
- 18 Orozco-Gutiérrez, G.; Medina-Telez, L.; Elvira-Espinosa, A. y Cervantes-Preciado, J. F. 2021. Biocarbón de bambú como mejorador de la fertilidad del suelo en caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 12(65):67-88. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.780>.
- 19 Ortega-Ramírez, A. T. y Olaya-Pulido, M. P. 2022. Aplicación de biocarbón como estrategia de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos. *Revista Gestión y Ambiente*. 25(2):1-17. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/103418>.
- 20 Pérez-Cabrera, C. A.; Juárez-López, P.; Anzaldo-Hernández, J.; Alia-Tejacal, I.; Gayosso-Rodríguez, S.; Salcedo-Pérez, E.; Guillén-Sánchez, D.; Balois-Morales, R. and Cabrera-Chavarría, L. G. 2021. Rice husk biochar as a substrate for growth of cucumber seedlings. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 27(3):171-183. [10.5154/r.rchsh.2021.01.002](https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.01.002).
- 21 Ravindiran, G.; Rajamanickam, S.; Janardhan, G. Hayder, G.; Alagumalai, A.; Mahian, O.; Lam, S. S. and Sonne, C. 2024. Production and modifications of biochar to engineered materials and its applications for environmental sustainability: a review. *Biochar*. 6(62):1-27. <https://doi.org/10.1007/s42773-024-00350-1>.
- 22 Rebollar-Rebollar, S.; Ramírez-Abarca, O. y Hernández-Martínez, J. 2022. Competitividad y valor agregado de pepino Persa (*Cucumis sativus* L.) en agricultura por contrato: estudio de caso. *Terra Latinoamericana*. 40(1):1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.952>
- 23 SAS Institute 2004. SAS/STAT User's Guide. Release 9.1. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 5121 p.
- 24 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Anual Agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
- 25 Villegas-Torres, O. G.; Domínguez-Patiño, M. L.; Albavera-Pérez, M.; Andrade-Rodríguez, M.; Sotelo-Nava, H.; Martínez-Rangel, M. G.; Aguilar-Cortés, M.; Castillo-Carpintero, C. y Magadan-Salazar, M. del C. 2017. Sustrato como material de última generación. OmniaScience Publisher SL. Barcelona, España. 53 p. <http://dx.doi.org/10.3926/oms.364>.
- 26 Velázquez-Maldonado, J.; Juárez-López, P.; Anzaldo-Hernández, J.; Alejo-Santiago, G.; Valdez-Aguilar, L. A.; Alia-Tejacal, I. López-Martínez, V.; Pérez-Arias, G. A. y Guillén-Sánchez, D. 2019. Concentración nutrimental de biocarbón de cascarilla de arroz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 42(2):129-136.
- 27 Webber, C. L.; White, P. M.; Spaunhorst, D. J.; Lima, I. M. and Petrie, E. C. 2018. Sugarcane biochar as an amendment for greenhouse growing media for the production of cucurbit seedlings. *Journal of Agricultural Science* 10(2):104-115. [10.5539/jas.v10n2p104](https://doi.org/10.5539/jas.v10n2p104).
- 28 Webber, C. L.; White, P. M.; Spaunhorst, D. J. and Petrie, E. C. 2017. Impact of sugarcane bagasse ash as an amendment on the physical properties, nutrient content and seedling growth of a certified organic greenhouse growing media. *Journal of Agricultural Science*. 9(7):1-11. [10.5539/jas.v9n7p1](https://doi.org/10.5539/jas.v9n7p1).

Biocarbón de ápices de caña de azúcar en el crecimiento inicial de pepino

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2025
Date accepted: 01 June 2025
Publication date: 10 July 2025
Publication date: May-Jun 2025
Volume: 16
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e3727
DOI: 10.29312/remexca.v16i4.3727
Funded by: Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías
Award ID: 243072
Award ID: CVU: 260303

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Cucumis sativus L.

biochar

propiedades físicas

sustrato.

Counts

Figures: 0

Tables: 4

Equations: 0

References: 28

Pages: 0