

Rice husk biochar as a substrate for growth of cucumber seedlings

Biocarbón de cascarilla de arroz como sustrato en el crecimiento de plántulas de pepino

Carlos Alberto Pérez-Cabrera¹; Porfirio Juárez-López^{1*};
José Anzaldo-Hernández²; Irán Alia-Tejagal¹; Salomé Gayosso-Rodríguez³;
Eduardo Salcedo-Pérez⁴; Dagoberto Guillén-Sánchez¹;
Rosendo Ballois-Morales⁵; Lourdes G. Cabrera-Chavarría⁶

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad, núm. 1001, Cuernavaca, Morelos, C. P. 62210, MÉXICO. ²Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Blvd. Marcelino García Barragán, núm. 1421, Esquina Calzada Olímpica, Guadalajara, Jalisco, C. P. 44430, MÉXICO. ³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km 25, Villahermosa, Tabasco, C. P. 86298, MÉXICO. ⁴Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Ramón Padilla Sánchez, núm. 2100, Nextipac, Zapopan, Jalisco, C. P. 45200, MÉXICO. ⁵Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Blvd. Tepic-Xalisco s/n, Tepic, Nayarit, C. P. 63000, MÉXICO. ⁶Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Tonalá. Av. Nuevo Periférico, núm. 555, Ejido San José Tateposco, Tonalá, Jalisco, C. P. 48525, MÉXICO.

*Corresponding author: porfirio.juarez@uaem.mx, porfiriojlopez@yahoo.com, tel. 777 103 34 26.

Abstract

Biochar is a carbon-rich material derived from plant residues and obtained by thermochemical techniques in an oxygen-limited environment or in the absence of it. The aim was to evaluate the physical properties of mixtures of rice husk biochar as a substrate component and their effect on the growth of cucumber seedlings. The treatments were: rice husk biochar (BC) and commercial peat moss (T; Sunshine mix 3), as well as mixtures of both in different proportions (20:80, 40:60, 60:40 and 80:20 %, respectively). For physical characterization, particle size, bulk density, total porosity, aeration porosity and water-holding porosity were evaluated. Additionally, nutrient concentration was determined. To evaluate the effect of biochar on cucumber seedling growth, stem length, fresh weight of aerial and root biomass, leaf area, dry weight of aerial and root biomass, and relative chlorophyll content (SPAD readings) were considered. It was found that the addition of up to 40 % BC to the universal growth medium (peat moss) does not alter the physical properties of total porosity, aeration porosity, and water-holding porosity; furthermore, the growth of cucumber seedlings in a 20 % BC mixture is similar in stem length, fresh biomass, dry biomass and leaf area to seedlings grown with 100 % peat moss.

Keywords:

Cucumis sativus, hydrothermal carbonization, growing media, physical and chemical properties, soilless culture.

Resumen

El biocarbón es un material rico en carbono derivado de residuos vegetales y que se obtiene mediante técnicas termoquímicas en un ambiente limitado de oxígeno o en ausencia de éste. El objetivo fue evaluar las propiedades físicas de mezclas de biocarbón de cascarilla de arroz como componente de sustrato y su efecto en el crecimiento de plántulas de pepino. Los tratamientos fueron: biocarbón de cascarilla de arroz (BC) y turba comercial (T; Sunshine mix 3), así como mezclas de ambos en diferentes proporciones (20:80, 40:60, 60:40 y 80:20 %, respectivamente). Para la caracterización física, se evaluó la granulometría, la densidad aparente, la porosidad total, la porosidad de aireación y la porosidad de humedad. Adicionalmente, se determinó la concentración nutricional. Para evaluar el efecto del biocarbón en el crecimiento de plántulas de pepino se consideró la longitud de tallo, el peso fresco de biomasa aérea y de raíz, el área foliar, el peso seco de biomasa aérea y de raíz, y el contenido relativo de clorofila (lecturas SPAD). Se encontró que la adición de hasta 40 % de BC al medio de crecimiento universal (turba) no altera las propiedades físicas de porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad; además, el crecimiento de plántulas de pepino en mezcla de BC al 20 % es similar en longitud de tallo, biomasa fresca, biomasa seca y área foliar a las plántulas cultivadas con 100 % de turba.

Palabras clave: *Cucumis sativus*, carbonización hidrotérmica, medios de crecimiento, propiedades físicas y químicas, cultivo sin suelo.

Please cite this article as follows (APA 6): Pérez-Cabrera, C. A. Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejagal, I., Gayosso-Rodríguez, S., Salcedo-Pérez, E., Guillén-Sánchez, D., Ballois-Morales, R., & Cabrera-Chavarría, L. G. (2021). Rice husk biochar as a substrate for growth of cucumber seedlings. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(3), 171-183. doi: 10.5154/r.rchsh.2021.01.002

Received: January 10, 2021 / Accepted: March 27, 2021



Revista Chapingo
Serie Horticultura

<https://revistas.chapingo.mx/horticultura/>

Introduction

Biochar is a carbon-rich material derived from plant residues that is obtained by thermochemical techniques in a limited-oxygen environment or in the absence of it (Huang & Gu, 2019; Velázquez-Maldonado et al., 2019). This material is mainly generated in order to obtain benefits such as a soil amendment (Medina-Orozco & Medina-Orozco, 2017; Sánchez-Pilcorema, Condoy-Gorotiza, Sisalima-Morales, Barrezueta-Unda, & Jaramillo-Aguilar, 2020), an increase in crop productivity (Escalante-Rebolledo et al., 2016; Zahid, Iftikhar, Ahmad, & Gul, 2018), an improvement in the colonization rate of mycorrhizal fungi and an increase in microbial activity (Singh, Singh, & Purakayastha, 2019; Zhang et al., 2016). Likewise, the use of biochar has been reported in seedling production (Iglesias-Abad, Alvarez-Vera, Vázquez, & Salas-Macías, 2020) and in the production of containerized crops (Blok et al., 2017; Guo, Niu, Starman, Volder, & Gu, 2018; Huang & Gu, 2019).

Several studies report that biochar's physical and chemical characteristics mainly depend on the raw material, the technique used, the heating interval, and the temperature and pressure of the reactor (Escalante-Rebolledo et al., 2016). Therefore, it is important to characterize biochar's physical and chemical properties in order to explain their effects when using it as a soil amendment or as an alternative to reduce the use of peat moss as a substrate.

Biochar has been shown to act as a potential improver of both soil and substrates, since its addition positively affects some physical and chemical properties. In this sense, Albuquerque et al. (2014) and Mathias-Schlegel, Ibrahim, Kipping-Rössel, Ortiz-Laurel, and Frías (2018) report that biochar reduces bulk density and increases total porosity and water-holding capacity of soil (Blanco-Canqui, 2017; Wacal et al., 2019) and substrates (Blok et al., 2017), favoring seedling development and growth. Interactions between physical and chemical properties determine the fertility of the substrate or growth medium. These interactions can be modified with the addition of biochar and favor plant growth (Sánchez-Reinoso, Ávila-Pedraza, & Restrepo-Díaz, 2020).

One of the main functions of substrates or growing media used in seedling production is to provide physical support, as well as to provide an adequate balance of air, water and nutrients for proper root growth (Pire & Pereira, 2003). The physical characteristics (such as aeration porosity and water-holding capacity) and chemical ones (pH, cation exchange capacity and nutrient concentration) of a substrate influence root growth and function, and can therefore positively or negatively affect seedling quality (García, Alcántar, Cabrera, Gavi, & Volke, 2001).

Introducción

El biocarbón es un material rico en carbono derivado de residuos vegetales, el cual se obtiene mediante técnicas termoquímicas en un ambiente limitado de oxígeno o en ausencia de éste (Huang & Gu, 2019; Velázquez-Maldonado et al., 2019). Dicho material se genera principalmente con el fin de obtener beneficios como enmienda al suelo (Medina-Orozco & Medina-Orozco, 2017; Sánchez-Pilcorema, Condoy-Gorotiza, Sisalima-Morales, Barrezueta-Unda, & Jaramillo-Aguilar, 2020), aumento en la productividad de cultivos (Escalante-Rebolledo et al., 2016; Zahid, Iftikhar, Ahmad, & Gul, 2018), mejora en la tasa de colonización de hongos micorrízicos e incremento en la actividad microbiana (Singh, Singh, & Purakayastha, 2019; Zhang et al., 2016). Asimismo, se ha reportado el uso de biocarbón en la producción de plántulas (Iglesias-Abad, Alvarez-Vera, Vázquez, & Salas-Macías, 2020) y en la producción de cultivos en contenedor (Blok et al., 2017; Guo, Niu, Starman, Volder, & Gu, 2018; Huang & Gu, 2019).

Varios estudios reportan que las características físicas y químicas del biocarbón dependen principalmente de la materia prima, técnica empleada, intervalo de calentamiento, temperatura y presión del reactor (Escalante-Rebolledo et al., 2016). Por lo tanto, es importante caracterizar las propiedades físicas y químicas del biocarbón con la finalidad de explicar sus efectos al utilizarlo como enmienda al suelo o como alternativa para disminuir el uso de turba como sustrato.

Se ha comprobado que el biocarbón actúa como un mejorador potencial tanto del suelo como de los sustratos, ya que su adición afecta positivamente algunas propiedades físicas y químicas. En este sentido, Albuquerque et al. (2014) y Mathias-Schlegel, Ibrahim, Kipping-Rössel, Ortiz-Laurel, y Frías (2018) reportan que el biocarbón reduce la densidad aparente e incrementa la porosidad total y la capacidad de retención de agua del suelo (Blanco-Canqui, 2017; Wacal et al., 2019), y de los sustratos (Blok et al., 2017), lo que favorece el desarrollo y crecimiento de las plántulas. Las interacciones entre propiedades físicas y químicas determinan la fertilidad del sustrato o medio de crecimiento. Dichas interacciones pueden ser modificadas con la adición del biocarbón y favorecer el crecimiento de las plantas (Sánchez-Reinoso, Ávila-Pedraza, & Restrepo-Díaz, 2020).

Una de las principales funciones de los sustratos o medios de crecimiento utilizados en la producción de plántulas es proveer de soporte físico, así como proporcionar un balance adecuado de aire, agua y nutrientes para el apropiado crecimiento de las raíces (Pire & Pereira, 2003). Las características físicas (como porosidad de aireación y capacidad de retención de humedad) y químicas (pH, capacidad de intercambio

In Mexico, there is no research on the effect of biochar on the production of seedlings of horticultural species. Therefore, the aim of this work was to evaluate the physical properties of rice husk biochar (BC) mixtures as a substrate component and their effect on the growth of cucumber seedlings.

Materials and methods

The research work was divided into two stages: 1) laboratory stage, which consisted of the physical characterization of the BC, peat moss and the mixture of both materials, as well as the evaluation of the nutrient concentration of the individual materials (BC and peat moss), and 2) greenhouse stage, in which the individual materials and mixtures of them were evaluated in the growth of cucumber seedlings.

Biochar production

Rice husks obtained from a commercial mill in Cuautla, Morelos, from the spring-summer 2019 harvest, were used to make the BC. The technique used to make it was hydrothermal carbonization (HTC) at 200 °C with 10 % citric acid as a catalyst (Velázquez-Maldonado et al., 2019).

Treatments

The individual materials used were rice husk biochar (BC) and commercial peat moss (T; Sunshine mix 3), which were mixed under different proportions: 20:80, 40:60, 60:40 and 80:20 % (v/v), respectively. The treatments were designated as: T1 = peat moss (control), T2 = BC, T3 = 20:80 % mix, T4 = 40:60 % mix, T5 = 60:40 % mix and T6 = 80:20 % mix.

Physical characterization

Granulometry. In an electric sieve shaker (MONTINOX®), with sieves (FIC®) of number 8, 10, 12, 16, 20 and 50 (2.38, 1.68, 1.41, 1.15, 0.86 and 0.24 mm opening, respectively), a sample composed of 800 cm³ of each treatment was placed for 3 min; subsequently, the material retained on each sieve was weighed and the percentage by particle size was calculated.

Bulk density (BD). For this determination, 232-mL polystyrene permeameters were used. Samples were saturated with running water for 24 h, placed in the permeameters and dried in an oven at 65 °C until constant weight (Gayosso-Rodríguez, Villanueva-Couoh, Estrada-Botello, & Garruña, 2018b).

Total porosity (TP), aeration porosity (AP) and water-holding porosity (WHP) were determined using the procedure described by Landis, Tinus, McDonald, and Barnett (1990).

catiónico y concentración de nutrientes) de un sustrato influyen en el crecimiento y el funcionamiento de las raíces, por lo que pueden afectar de manera positiva o negativa la calidad de plántulas (García, Alcántar, Cabrera, Gavi, & Volke, 2001). En México, no hay investigaciones sobre el efecto del biocarbón en la producción de plántulas de especies hortícolas. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades físicas de mezclas de biocarbón de cascarilla de arroz (BC) como componente de sustrato y su efecto en el crecimiento de plántulas de pepino.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se dividió en dos etapas: 1) etapa de laboratorio, la cual consistió en la caracterización física del BC, la turba y la mezcla de ambos materiales, así como la evaluación de la concentración nutrimental de los materiales individuales (BC y turba), y 2) etapa de invernadero, en la cual se evaluaron los materiales individuales y mezclas de ellos en el crecimiento de plántulas de pepino.

Elaboración de biocarbón

Para elaborar el BC se utilizó cascarilla de arroz obtenida de un molino comercial de Cuautla, Morelos, de la cosecha primavera-verano de 2019. La técnica empleada para su elaboración fue la de carbonización hidrotérmica (HTC, por sus siglas en inglés) a 200 °C con ácido cítrico al 10 % como catalizador (Velázquez-Maldonado et al., 2019).

Tratamientos

Los materiales individuales utilizados fueron: biocarbón de cascarilla de arroz (BC) y turba comercial (T; Sunshine mix 3), los cuales se mezclaron bajo diferentes proporciones: 20:80, 40:60, 60:40 y 80:20 % (v/v), respectivamente. Los tratamientos se designaron como: T1 = turba (testigo), T2 = BC, T3 = mezcla 20:80 %, T4 = mezcla 40:60 %, T5 = mezcla 60:40 % y T6 = mezcla 80:20 %.

Caracterización física

Granulometría. En una tamizadora eléctrica (MONTINOX®), con tamices (FIC®) número 8, 10, 12, 16, 20 y 50 (2.38, 1.68, 1.41, 1.15, 0.86 y 0.24 mm de abertura, respectivamente), se colocó una muestra compuesta de 800 cm³ de cada tratamiento durante 3 min; posteriormente, se pesó el material retenido en cada tamiz y se calculó el porcentaje por tamaño de partícula.

Densidad aparente (DA). Para esta determinación se utilizaron permeámetros de poliestireno con capacidad

Nutrient concentration

N was determined for the individual materials (biochar and peat moss) by the micro Kjeldahl method and P with the vanadate-molybdate-yellow method. Total K, Ca and Na content was obtained by means of the flamometry technique, and total Mg by atomic absorption spectrophotometry according to the official Mexican standard PROY-NOM-021-RECNAT-2000 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2000).

Seedling growth

The experiment was carried out in June 2019 in a tunnel-type greenhouse belonging to the Faculty of Agricultural Sciences of the *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*, located in Cuernavaca, Morelos, Mexico (18° 58' 51" N and 99° 13' 55" W, at 1,866 m a. s. l.). Temperature and relative humidity were monitored with an environmental data logger (U12, HobWxo®). The average greenhouse temperature was 28.5 °C and the average relative humidity was 65 %. Treatments were evaluated in American-type 'Thunderbird' (Seminis®) cucumber seedlings in 200-cavity polystyrene germination trays, with each cavity having a capacity of 20.5 mL. Seedlings were irrigated with water purified by reverse osmosis.

At 23 days after planting, stem length (ST), fresh weight of aerial biomass (FWAB), fresh weight of root biomass (FWRB), leaf area (LA), dry weight of aerial biomass (DWAB), dry weight of root biomass (DWRB) and relative chlorophyll content were recorded. FWAB and FWRB were obtained with a scale (Ohaus®) and LA with a leaf area meter (LI-3100C, LI-COR®, USA). For DWAB and DWRB, a circulating air oven (Pro1002498, Luzeren®) was used at 70 °C until constant weight, and a portable SPAD meter (502 Plus, Minolta®) was used to determine chlorophyll content (SPAD readings).

Experimental design and statistical analysis

In the first stage, a completely randomized design with three replicates was used to determine the physical and chemical properties of the substrate mixtures evaluated. In the second stage, a randomized block experimental design with six replicates and ten seedlings as the experimental unit was used. To ensure normality, the data expressed as a percentage were transformed with the square root of the arcsine. With the exception of the data on substrate physical property variables, data were subjected to analysis of variance and, when there were statistical differences, a Tukey's comparison of means test ($P \leq 0.05$) was performed. Likewise, to determine if the physical properties of the substrates had a relationship with seedling growth, a Pearson correlation analysis was performed with 18

de 232 mL. Las muestras se saturaron con agua corriente por 24 h, se colocaron en los permeámetros y se secaron en una estufa a 65 °C hasta peso constante (Gayosso-Rodríguez, Villanueva-Couoh, Estrada-Botello, & Garruña, 2018b).

La porosidad total (PT), la porosidad de aireación (PA) y la porosidad de retención de humedad (PRH) se determinaron mediante el procedimiento descrito por Landis, Tinus, McDonald, y Barnett (1990).

Concentración nutrimental

A los materiales individuales (biocarbón y turba) se les determinó el N con el método micro Kjeldahl y el P con amarillo de molibdato vanato. El contenido total de K, Ca y Na se obtuvo mediante la técnica de flamometría, y el Mg total por espectrofotometría de absorción atómica según la norma oficial mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2000).

Crecimiento de plántulas

El experimento se desarrolló en junio de 2019 en un invernadero tipo túnel de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ubicada en Cuernavaca, Morelos, México (18° 58' 51" latitud norte y 99° 13' 55" longitud oeste, a 1,866 m s. n. m.). La temperatura y la humedad relativa se monitorearon con un registrador de datos ambientales (U12, Hobo®). La temperatura promedio del invernadero fue de 28.5 °C y la humedad relativa promedio de 65 %. Los tratamientos se evaluaron en plántulas de pepino tipo americano 'Thunderbird' (Seminis®) en charolas de germinación de poliestireno de 200 cavidades con capacidad de 20.5 mL. Las plántulas se regaron con agua purificada por ósmosis inversa.

A los 23 días después de la siembra, se midió la longitud de tallo (LT), el peso fresco de biomasa aérea (PFBA), el peso fresco de biomasa de raíz (PFBR), el área foliar (AF), el peso seco de biomasa aérea (PSBA), el peso seco de biomasa de raíz (PSBR) y el contenido relativo de clorofila. El PFBA y PFBR se midieron con una báscula (Ohaus®), y el AF con un medidor de área foliar (LI-3100C, LI-COR®, EUA). Para el PSBA y el PSBR se utilizó una estufa de aire circulante (Pro1002498, Luzeren®) a 70 °C hasta peso constante, y para determinar el contenido de clorofila (lecturas SPAD) se utilizó un medidor portátil de SPAD (502 Plus, Minolta®).

Diseño experimental y análisis estadístico

En la primera etapa, se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones para determinar las propiedades físicas y químicas de las mezclas de los

pairs of values and significant correlations ($P \leq 0.05$) were reported, this by means of the SAS program (SAS Institute, 2004).

Results and discussion

Physical properties

In relation to the cumulative percentages of particle size up to 0.86 mm, T3 (20:80 mix) presented the highest value (63.31 %), while T1 (peat moss) had the lowest value (41.44 %) (Table 1). In sizes from 0.86 to 2.38 mm, the highest distribution of particles was concentrated in T2 (BC) with 55.26 %, and T3 had the lowest distribution (32.38 %). The highest percentage of particles larger than 2.38 mm was found in T1 (7.74 %), and the lowest value was in T2 (0.50 %). It is important to note that reports on BC particle size are scarce; however, the values of the present study contrast with those reported by Pérez-Salas, Tapia-Fernández, Soto, and Benjamin (2013) in beechwood (*Gmelina arborea*) biochar, since they obtained a greater distribution of particles from 0.24 to 0.84 mm with 57 %, followed by 23 % of particles larger than 2 mm and 20 % of particles smaller than 2 mm. This may be due to the composition of the plant material used and the biochar production process.

Cabrera (1999) states that the components of substrates or mixtures should be made up of particles with sizes from 0.5 to 4 mm, with a percentage ≤ 20 % for sizes ≤ 0.5 mm, ≥ 60 % in sizes from 0.5 to 2 mm and ≤ 20 % in sizes > 2 mm. Gayosso-Rodríguez, Borges-Gómez, Villanueva-Couoh, Estrada-Botello, and Garruña (2018a) point out that percentages higher than 20 % in particles with sizes ≤ 0.5 mm affect the aeration capacity in substrates because it decreases with particle size.

In general, it was observed that the particle distribution was affected by the combination of both materials. That is, as the proportion of BC decreased, the cumulative

sustratos evaluados. En la segunda etapa, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con seis repeticiones y diez plántulas como unidad experimental. Para asegurar la normalidad, los datos expresados en porcentaje se transformaron con la raíz cuadrada del arcoseno. Con excepción de los datos de las variables de propiedades físicas de los sustratos, los datos se sometieron a un análisis de varianza y, cuando hubo diferencias estadísticas, se realizó una comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Asimismo, para determinar si las propiedades físicas de los sustratos tuvieron relación con el crecimiento de las plántulas, se realizó un análisis de correlación de Pearson con 18 número de pares de valores y se reportaron las correlaciones significativas ($P \leq 0.05$), esto mediante el programa SAS (SAS Institute, 2004).

Resultados y discusión

Propiedades físicas

En relación con los porcentajes acumulados de tamaño de partículas de hasta 0.86 mm, el T3 (mezcla 20:80) presentó el mayor valor (63.31 %), mientras que el T1 (turba) tuvo el valor más bajo (41.44 %) (Cuadro 1). En tamaños de 0.86 hasta 2.38 mm, la mayor distribución de partículas se concentró en el T2 (BC) con 55.26 %, y el T3 presentó la menor distribución (32.38 %). El mayor porcentaje de partículas con tamaño superior a 2.38 mm lo tuvo el T1 (7.74 %), y el menor valor lo presentó el T2 (0.50 %). Es importante señalar que los reportes sobre granulometría de BC son escasos; sin embargo, los valores del presente estudio contrastan con los reportados por Pérez-Salas, Tapia-Fernández, Soto, y Benjamin (2013) en biocarbón de melina (*Gmelina arborea*), ya que obtuvieron una mayor distribución de partículas de 0.24 a 0.84 mm con 57 %, seguido de 23 % de partículas mayores a 2 mm y 20 % de partículas menores a 2 mm. Lo anterior se puede deber a la composición del material vegetal empleado y al proceso de elaboración del biocarbón.

Table 1. Particle size distribution (percentage based on weight) in mixtures of peat moss (T) and rice husk biochar (BC). Cuadro 1. Distribución granulométrica (porcentual con base en peso) en mezclas de turba (T) y biocarbón de cascarilla de arroz (BC).

Treatments/ Tratamientos	Particle size (mm)/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 (T)	7.50	33.94	19.45	21.8	9.54	7.74
T2 (BC)	7.31	36.90	20.16	30.7	4.40	0.50
T3 (BC:T, 20:80)	23.99	39.32	12.08	16.4	3.90	4.35
T4 (BC:T, 40:60)	19.62	38.26	13.31	20.5	4.39	3.88
T5 (BC:T, 60:40)	16.60	37.78	14.71	24.4	3.88	2.65
T6 (BC:T, 80:20)	11.96	34.69	16.17	30.0	5.47	1.67

percentages of particles < 0.86 mm and > 2.38 mm increased, while particles in the range of 0.86 to 2.38 increased as the proportion of BC increased.

TP increased with decreasing BC content in the mixture. Treatments T1, T3 and T4 were significantly different ($P \leq 0.05$) from the rest of the treatments in TP and WHP (Table 2). Although no statistical differences were observed among T5, T6 and T2, the last presented the lowest values of TP and WHP (76.25 and 63.23 %, respectively). The results of the present study were higher than those reported by Webber, White, Spaunhorst, Lima, and Petrie (2018), who in mixtures of peat moss (Sun Gro Horticulture) and sugarcane bagasse biochar (25:75, 50:50 and 75:25 %) observed that the pore space ranged from 73.13 to 76.79 %, obtaining the largest pore space with the lowest biochar mixture. Webber, White, Spaunhorst, and Petrie (2017) report that the pore space ranged from 59.98 to 64.56 % with mixtures of peat moss (Sun Gro Horticulture) and sugarcane bagasse ash (25:75, 50:50 and 75:25). Regarding AP, the results ranged from 12.87 to 15.62 %, with no significant differences ($P \leq 0.05$) among treatments.

In relation to TP in organic substrates, Morales-Maldonado and Casanova-Lugo (2015) state that it should be greater than 85 %. In this study, treatments T3 and T4 comply with that recommendation, which generates a balance between the water-air ratio (AP and WHP). On the other hand, treatments T1, T3 and T4 had significant differences in WHP compared to T2 and T6. In this regard, Webber et al. (2017) point out that decreasing the percentages of sugarcane bagasse ash mixed with peat moss (Sun Gro Horticulture) (75:25 % peat moss:ash) results in the highest pore

Cabrera (1999) menciona que los componentes de sustratos o mezclas deben estar conformados por partículas con tamaños de 0.5 a 4 mm, con un porcentaje ≤ 20 % para tamaños ≤ 0.5 mm, ≥ 60 % en tamaños de 0.5 a 2 mm y ≤ 20 % en tamaños > 2 mm. Por su parte, Gayosso-Rodríguez, Borges-Gómez, Villanueva-Couoh, Estrada-Botello, y Garruña (2018a) señalan que porcentajes mayores a 20 % en partículas con tamaños ≤ 0.5 mm afectan la capacidad de aireación en los sustratos debido a que ésta disminuye con el tamaño de partícula.

En general, se observó que la distribución de partículas se vio afectada por la combinación de ambos materiales. Es decir, al disminuir la proporción de BC, los porcentajes acumulados de partículas < 0.86 mm y > 2.38 mm aumentaron, mientras que partículas en un rango de 0.86 a 2.38 aumentaron al incrementar la proporción de BC.

La PT aumentó al disminuir el contenido de BC en la mezcla. Los tratamientos T1, T3 y T4 fueron significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) al resto de los tratamientos en PT y PRH (Cuadro 2). Aunque no se observaron diferencias estadísticas entre T5, T6 y T2, este último presentó los valores más bajos de PT y PRH (76.25 y 63.23 %, respectivamente). Los resultados del presente estudio fueron más altos a los reportados por Webber, White, Spaunhorst, Lima, y Petrie (2018), quienes en mezclas de turba (Sun Gro Horticulture) y biocarbón de bagazo de caña (25:75, 50:50 y 75:25 %) observaron que el espacio poroso osciló de 73.13 a 76.79 %, obteniendo el mayor espacio poroso con la mezcla más baja de biocarbón. Webber, White, Spaunhorst, y Petrie (2017) mencionan que el espacio poroso osciló de 59.98 a 64.56 % con mezclas de turba (Sun Gro Horticulture) y cenizas

Table 2. Comparison of means of the physical properties of peat moss (T), rice husk biochar (BC) and mixtures of both.
Cuadro 2. Comparación de medias de las propiedades físicas de la turba (T), el biocarbón de cascarilla de arroz (BC) y la mezcla de ambos.

Treatments/ Tratamientos	TP/PT	AP/PA	WHP/PRH	BD (g·cm ⁻³)/ DA (g·cm ⁻³)
	(%)			
T1 (T)	87.29 a ^z	15.44 a	71.85 a	0.11 d
T2 (BC)	76.25 b	13.01 a	63.23 b	0.20 a
T3 (BC:T, 20:80)	86.25 a	15.62 a	70.62 a	0.12 c
T4 (BC:T, 40:60)	85.07 a	13.01 a	72.05 a	0.15 c
T5 (BC:T, 60:40)	78.35 b	12.87 a	65.48 ab	0.17 b
T6 (BC:T, 80:20)	77.98 b	13.90 a	64.09 b	0.20 a
CV	1.32	7.96	1.76	4.51

CV = coefficient of variation; TP = total porosity; AP = aeration porosity; WHP = water-holding porosity; BD = bulk density. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

CV = coeficiente de variación; PT = porosidad total; PA = porosidad de aireación; PRH = porosidad de retención de humedad; DA = densidad aparente. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

space, water saturation and field capacity values. In contrast, Webber et al. (2018) report that the 75:25 % peat moss:sugarcane bagasse biochar mixture increased pore space, but decreased water saturation and field capacity properties in the substrates.

Water holding in a substrate is not only determined by particle size, but also by the arrangement, shape and compaction of the particles, since they generate different types of pores (Gutiérrez-Castorena, Hernández-Escobar, Ortiz-Solorio, Anicua-Sánchez, & Hernández-Lara, 2011). For this reason, particles > 1 mm favor the formation of larger pores (Morales-Maldonado & Casanova-Lugo, 2015), and, in this study, peat moss was the material with the highest amount of particles > 1 mm, so increasing the proportion of peat moss in the mixture also increased the TP. Large pores allow the accommodation of small intra- and interparticle particles, which generates pores that contribute to water conservation (Anicua-Sánchez et al., 2009).

Most biochar-related research focuses on moisture content, ash, fixed carbon, volatility, and surface area as physical properties (Ding et al., 2017; Herrera et al., 2018; Rodríguez, Lemos, Trujillo, Amaya, & Ramos, 2019). However, Webber et al. (2018, 2017) report physical properties such as total porosity, water saturation and field capacity in sugarcane bagasse biochar and sugarcane bagasse ash mixed with peat moss (Sun Gro Horticulture) at different percentages (0, 25, 50, 75 and 100 %).

Regarding BD, differences ($P \leq 0.05$) were found among treatments; T2 and T6 had the highest BD with $0.20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, while peat moss (T1) showed the lowest value with $0.11 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Pratiwi, Hillary, Fukuda, and Shinogi (2016) obtained results of approximately $0.18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ in rice husk biochar. On the other hand, Albuquerque et al. (2014) report a BD of 0.19, 0.25, 0.66, 0.72 and $0.74 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ in different biochars made from wheat straw, pine woodchips, olive-tree pruning, olive stone, and almond shells, respectively. Webber et al. (2018), in sugarcane bagasse biochar, obtained a low BD ($0.11 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$); however, peat moss (Sun Gro Horticulture) had a BD of $0.11 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, equal to that found in this study. It is important to consider BD since, in addition to the effect it can have on plant growth, it can result in increased transportation and handling costs (Cabrera, 1999). A low BD is desirable to facilitate handling and transport of germination trays (Bracho, Pierre, & Quiroz, 2009).

Nutrient concentration

Differences ($P \leq 0.05$) were found in the nutrient concentration of peat moss and BC in N, K, Ca, Mg

de bagazo de caña (25:75, 50:50 y 75:25). Respecto a la PA, los resultados oscilaron entre 12.87 y 15.62 %, sin diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

En relación con la PT en sustratos orgánicos, Morales-Maldonado y Casanova-Lugo (2015) mencionan que ésta debe ser mayor a 85 %. En este estudio, los tratamientos T3 y T4 cumplen con dicha recomendación, lo cual genera un equilibrio entre la relación agua-aire (PA y PRH). Por otra parte, los tratamientos T1, T3 y T4 presentaron diferencias significativas en la PRH en comparación con T2 y T6. En este sentido, Webber et al. (2017) señalan que al disminuir los porcentajes de cenizas de bagazo de caña de azúcar en mezcla con turba (Sun Gro Horticulture) (75:25 % turba:cenizas) se obtiene el mayor espacio poroso, saturación de agua y capacidad de campo. En contraste, Webber et al. (2018) reportaron que la mezcla 75:25 % de turba:biocarbón de bagazo de caña de azúcar aumentó el espacio poroso, pero disminuyó las propiedades de saturación de agua y capacidad de campo en los sustratos.

La retención de agua en un sustrato no sólo está determinada por la granulometría, sino también por el acomodo, forma y compactación de las partículas, ya que generan diferentes tipos de poros (Gutiérrez-Castorena, Hernández-Escobar, Ortiz-Solorio, Anicua-Sánchez, & Hernández-Lara, 2011). Por ello, partículas > 1 mm favorecen la formación de poros de mayor tamaño (Morales-Maldonado & Casanova-Lugo, 2015), y en este estudio la turba fue el material con mayor cantidad de partículas > 1 mm, por lo que al incrementar la proporción de turba en la mezcla también aumentó la PT. Los poros grandes permiten el acomodo de partículas pequeñas intra e interpartícula, lo cual genera poros de menor tamaño que contribuyen a la conservación de agua (Anicua-Sánchez et al., 2009).

La mayoría de las investigaciones relacionadas con biocarbón se enfocan en el contenido de humedad, cenizas, carbono fijo, volatilidad y área de superficie como propiedades físicas (Ding et al., 2017; Herrera et al., 2018; Rodríguez, Lemos, Trujillo, Amaya, & Ramos, 2019). No obstante, Webber et al. (2018, 2017) reportan propiedades físicas como porosidad total, saturación de agua y capacidad de campo en biocarbón de bagazo de caña de azúcar y cenizas de bagazo de caña de azúcar mezclado con turba (Sun Gro Horticulture) en diferentes porcentajes (0, 25, 50, 75 y 100 %).

Respecto de la DA, se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos; el T2 y T6 presentaron la mayor DA con $0.20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, mientras que la turba (T1) mostró el menor valor con $0.11 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Pratiwi, Hillary, Fukuda, y Shinogi (2016) obtuvieron resultados aproximados a $0.18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ en biocarbón de cascarilla de arroz. Por otra parte, Albuquerque et al. (2014) reportaron una

Table 3. Comparison of means of the nutrient concentration of peat moss and rice husk biochar.**Cuadro 3. Comparación de medias de la concentración nutrimental de la turba y el biocarbón de cascarilla de arroz.**

Treatments / Tratamientos	N (%)	P	K	Ca	Mg	Na
		(mg·kg ⁻¹)				
Peat moss / Turba	0.93 a ²	1971.53 a	12559.30 a	7541.10 a	24705.27 a	1208.89 a
Biochar / Biocarbón	0.78 b	1993.23 a	3303.10 b	2218.41 b	6887.09 b	835.58 b
CV	5.56	5.84	13.18	13.63	7.50	9.13
HSD / DMSH	0.11	262.64	2369.80	1508.30	2687.10	211.57

CV = coefficient of variation; HSD = honestly significant difference. ²Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

CV = coeficiente de variación; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

and Na (Table 3). It was observed that the highest concentration of nutrient elements was found in peat moss, with the exception of P, which had no significant differences. These results may be due to the chemical composition of peat moss, since agricultural dolomite is added to it, which provides Ca and Mg and increases the availability of nutrients such as N, P and Ca (Calva & Espinosa, 2017).

The nutrient content of the BC was higher than that reported by Velázquez-Maldonado et al. (2019) (with values of 0.32 % N, 504 mg·kg⁻¹ P, 1,117 mg·kg⁻¹ K and 983 mg·kg⁻¹ Mg), except for Ca (10,988 mg·kg⁻¹). Although the rice husks used in both studies were extracted from the same region of Cuautla, they were harvested in different years, which may have influenced the nutrient content of the biochar. On the other hand, the results obtained were lower than those reported by Cho et al. (2017): 12,050 mg·kg⁻¹ P, 15,800 mg·kg⁻¹ Ca, 10,380 mg·kg⁻¹ Mg and 7,340 mg·kg⁻¹ Na, except for the content of N and K. In this case, the biochar was made using a wood roaster at temperatures ranging from 200 to 250 °C.

The differences in the nutrient concentrations of the different biochars could be influenced by the technique and temperature used in their preparation. In this regard, Bethancourt, James, Villarreal, and Marin-Calvo (2019) state that by increasing the temperature from 714 to 935 °C, in the gasification technique, the nutrient concentration of biochar increased from 0.30 to 0.50 % in N, from 6,000 to 10,000 mg·kg⁻¹ in P, from 8,000 to 10,000 mg·kg⁻¹ in K and from 236.7 to 524.0 mg·L⁻¹ in Mn. Therefore, it can be said that the properties of biochars are also affected by production techniques, raw materials, heat ranges, temperature, reactor pressure and the use of catalysts (Bento et al., 2019; Escalante-Rebolledo et al., 2016; Huang & Gu, 2019).

DA de 0.19, 0.25, 0.66, 0.72 y 0.74 g·cm⁻³ en diferentes biocarbones elaborados a partir de paja de trigo, astillas de pino, podas de olivo, hueso de aceitunas y cáscara de almendras, respectivamente. Webber et al. (2018), en biocarbón de bagazo de caña de azúcar, obtuvieron una baja DA (0.11 g·cm⁻³); sin embargo, la turba (Sun Gro Horticulture) presentó una DA de 0.11 g·cm⁻³, igual a la encontrada en este estudio. Es importante considerar la DA, ya que, además del efecto que puede tener en el crecimiento de plantas, puede resultar en el aumento de los costos de transporte y manejo (Cabrera, 1999). Una DA baja es deseable para facilitar las labores de manipulación y transporte de las charolas de germinación (Bracho, Pierre, & Quiroz, 2009).

Concentración nutrimental

Se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) en la concentración nutrimental de la turba y el BC en N, K, Ca, Mg y Na (Cuadro 3). Se observó que la mayor concentración de los elementos nutrimentales se encontró en la turba; con excepción del P, el cual no tuvo diferencias significativas. Estos resultados se pueden deber a la composición química de la turba, ya que está adicionada con dolomita agrícola, que aporta Ca y Mg, e incrementa la disponibilidad de nutrimentos como N, P y Ca (Calva & Espinosa, 2017).

El contenido nutrimental del BC fue superior al reportado por Velázquez-Maldonado et al. (2019) (con valores de 0.32 % de N, 504 mg·kg⁻¹ de P, 1,117 mg·kg⁻¹ de K y 983 mg·kg⁻¹ de Mg), excepto en Ca (10,988 mg·kg⁻¹). Aunque la cascarilla de arroz utilizada en ambos trabajos fue extraída de la misma región de Cuautla, la cosecha de ésta se realizó en diferentes años, lo cual pudo haber influido en el contenido nutrimental de los biocarbones. Por otra parte, los resultados obtenidos fueron superados por los reportados por Cho et al. (2017): 12,050 mg·kg⁻¹ de P, 15,800 mg·kg⁻¹ de Ca, 10,380 mg·kg⁻¹ de Mg y

Seedling growth

The growth of cucumber seedlings in treatments T1 and T3 was higher ($P \leq 0.05$) than in the rest of the treatments (Table 4), with an increase of 81.65 and 84.81 % in SL, of 136.61 and 119.44 % in FWAB, of 106.96 and 105.90 % in LA, and of 166.99 and 145.08 % in DWAB, respectively. On the other hand, seedlings under the T2 treatment presented the lowest values in all variables evaluated.

Cho et al. (2017) found greater seedling height and higher root, stem and leaf dry weight in *Zelkova serrata* with 20 % rice husk biochar mixed with soil plus fertilization. These authors attributed their results to the physical and chemical properties of the biochar. Araméndiz-Tatis, Cardona-Ayala, and Correa-Álvarez (2013) report, in eggplant seedlings, that when using three mixtures of raw rice husk, in different combinations with alluvium, vermicompost and poultry manure (50:50:0:0, 40:40:20:0 and 40:40:0:20 %, respectively), the treatments with the highest rice husk proportion recorded the lowest values in growth and biomass production variables.

In DWRB, the highest value was obtained with treatment T3 (51 mg) and the lowest value with T2 (23.67 mg). These results may be due to the physical and chemical properties of BC (Tables 1, 2 and 3). Regarding SPAD units in leaves, no significant differences were found.

7,340 mg·kg⁻¹ de Na, a excepción del contenido de N y K. En este caso, el biocarbón se elaboró en un tostador de madera en un rango de 200 a 250 °C.

Las diferencias en las concentraciones nutrimentales de los biocarbones pudieran estar influenciadas por la técnica y la temperatura utilizadas en su elaboración. Al respecto, Bethancourt, James, Villarreal, y Marin-Calvo (2019) mencionan que al aumentar la temperatura de 714 a 935 °C, en la técnica de gasificación, la concentración nutrimental del biocarbón incrementó de 0.30 a 0.50 % en N, de 6,000 a 10,000 mg·kg⁻¹ en P, de 8,000 a 10,000 mg·kg⁻¹ en K y de 236.7 a 524.0 mg·L⁻¹ en Mn. Por lo anterior, se puede decir que las propiedades de los biocarbones también son afectadas por las técnicas de elaboración, materias primas, intervalos de calor, temperatura, presión del reactor y uso de catalizadores (Bento et al., 2019; Escalante-Rebolledo et al., 2016; Huang & Gu, 2019).

Crecimiento de plántulas

El crecimiento de las plántulas de pepino en los tratamientos T1 y T3 fue superior ($P \leq 0.05$) al resto de los tratamientos (Cuadro 4), con un incremento de 81.65 y 84.81 % en LT, de 136.61 y 119.44 % en PFBA, de 106.96 y 105.90 % en AF, y de 166.99 y 145.08 % en PSBA, respectivamente. Por su parte, las plántulas bajo el tratamiento T2 presentaron los valores más bajos en todas las variables evaluadas.

Table 4. Comparison of means of the effect of peat moss (T) and rice husk biochar (BC) on the growth of cucumber seedlings.

Cuadro 4. Comparación de medias del efecto de la turba (T) y el biocarbón de cascarilla de arroz (BC) en el crecimiento de plántulas de pepino.

Treatments/ Tratamientos	SL (cm)/ LT (cm)	FWAB (mg)/ PFBA (mg)	LA (cm ²)/ AF (cm ²)	DWAB (mg)/ PSBA (mg)	DWRB (mg)/ PSBR (mg)	SPAD
T1 (T)	2.87 a ^z	902.67 a	9.81 a	176.67 a	40.83 ab	38.38 a
T2 (BC)	1.58 d	381.50 d	4.74 b	66.17 d	23.67 c	38.96 a
T3 (BC:T, 20:80)	2.92 a	837.17 a	9.76 a	162.17 a	51.00 a	42.38 a
T4 (BC:T, 40:60)	2.25 b	657.33 b	6.84 b	122.83 b	50.17 a	42.08 a
T5 (BC:T, 60:40)	2.15 bc	550.17 bc	6.58 b	102.00 bc	43.67 ab	41.65 a
T6 (BC:T, 80:20)	1.93 c	442.83 cd	5.66 b	85.33 cd	34.67 b	41.98 a
CV	6.26	13.41	4.18	14.91	14.35	6.76
HSD/DMSH	0.25	148.04	2.31	31.22	10.25	4.85

SL = stem length; FWAB = fresh weight of aerial biomass; LA = leaf area; DWAB = dry weight of aerial biomass; DWRB = dry weight of root biomass; CV = coefficient of variation; HSD = honestly significant difference. ^aMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

LT = longitud de tallo; PFBA = peso fresco de biomasa aérea; AF = área foliar; PSBA = peso seco de biomasa aérea; PSBR = peso seco de biomasa de raíz; CV = coeficiente de variación; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^aMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Correlation analysis

Table 5 summarizes the variables with the greatest association, where positive correlations ($P \leq 0.01$) were detected between TP-SL, TP-FWAB, TP-LA, TP-DWAB, WHP-SL, WHP-FWAB, WHP-LA and WHP-DWAB. It was observed that treatments T1 and T3 had higher TP, so they had greater water-holding capacity and lower density, characteristics that favored the growth and development of the seedlings. Likewise, a positive correlation ($P \leq 0.05$) was detected between AP-DWAB.

On the other hand, negative correlations ($P \leq 0.01$) were detected in BD-SL, BD-FWAB, BD-LA, BD-DWAB and BD-DWRB (Table 5). Treatments T1 and T3 had low values in BD, but produced plants with greater SL, FWAB, DWAB and DWRB. This indicates that a BD of $0.20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ has a negative impact on plant growth and development. In this regard, Gayosso-Rodríguez, Borges-Gómez, Villanueva-Couoh, Estrada-Botello, and Garruña-Hernández (2016) point out that the density

Cho et al. (2017) encontraron mayor altura de plántulas y mayor peso seco de raíz, tallo y hojas en *Zelkova serrata* con biocarbón de cascarilla de arroz al 20 % mezclado con suelo más fertilización. Estos autores atribuyeron sus resultados a las propiedades físicas y químicas del biocarbón. Araméndiz-Tatis, Cardona-Ayala, y Correa-Álvarez (2013) reportaron, en plántulas de berenjena, que al utilizar tres mezclas de cascarilla de arroz cruda, en diferentes combinaciones con aluvión, lombricomposta y gallinaza (50:50:0:0, 40:40:20:0 y 40:40:0:20 %, respectivamente), los tratamientos con mayor cascarilla de arroz registraron los valores más bajos en las variables de crecimiento y producción de biomasa.

En PSBR, el valor más alto se obtuvo con el tratamiento T3 (51 mg), y el valor más bajo, con el T2 (23.67 mg). Estos resultados se pueden deber a las propiedades físicas y químicas del BC (Cuadros 1, 2 y 3). Respecto a las unidades SPAD en hojas, no se encontraron diferencias significativas.

Table 5. Linear correlations (r) between soil physical properties and growth variables of cucumber seedlings.

Cuadro 5. Correlaciones lineales (r) entre propiedades físicas del suelo y variables de crecimiento de plántulas de pepino.

Variables	Correlation coefficient (n = 18)/ Coeficiente de correlación (n = 18)
Total porosity – Stem length/ Porosidad total - Longitud de tallo	0.82**
Total porosity - Fresh weight of aerial biomass/ Porosidad total - Peso fresco de biomasa aérea	0.83**
Total porosity – Leaf area/ Porosidad total - Área foliar	0.67**
Total porosity – Dry weight of aerial biomass/ Porosidad total - Peso seco de biomasa aérea	0.81**
Total porosity – Dry weight of root biomass/ Porosidad total - Peso seco de biomasa de raíz	0.56*
Aeration porosity – Fresh weight of aerial biomass/ Porosidad de aireación - Peso fresco de biomasa aérea	0.58*
Aeration porosity – Dry weight of aerial biomass/ Porosidad de aireación - Peso seco de biomasa aérea	0.60**
Water-holding porosity – Stem length/ Porosidad de retención de humedad - Longitud de tallo	0.73**
Water-holding porosity – Fresh weight of aerial biomass/ Porosidad de retención de humedad - Peso fresco de biomasa aérea	0.65**
Water-holding porosity – Leaf area/ Porosidad de retención de humedad - Área foliar	0.66**
Water-holding porosity – Dry weight of aerial biomass/ Porosidad de retención de humedad - Peso seco de biomasa aérea	0.61**

*, ** = significant for $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively; n = number of pairs of values in the correlation.

*, ** = significativo para $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente; n = número de pares de valores en la correlación.

Table 5. Linear correlations (r) between soil physical properties and growth variables of cucumber seedlings. (cont.)**Cuadro 5. Correlaciones lineales (r) entre propiedades físicas del suelo y variables de crecimiento de plántulas de pepino (cont.)**

Variables	Correlation coefficient (n = 18) / Coeficiente de correlación (n = 18)
Water-holding porosity – Dry weight of root biomass / Porosidad de retención de humedad - Peso seco de biomasa de raíz	0.58*
Bulk density – Stem length / Densidad aparente - Longitud de tallo	-0.84**
Bulk density – Fresh weight of aerial biomass / Densidad aparente - Peso fresco de biomasa aérea	-0.90**
Bulk density – Leaf area / Densidad aparente - Área foliar	-0.84**
Bulk density – Dry weight of aerial biomass / Densidad aparente - Peso seco de biomasa aérea	-0.91**
Bulk density – Dry weight of root biomass / Densidad aparente - Peso seco de biomasa de raíz	-0.66**

*, ** = significant for $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively; n = number of pairs of values in the correlation.

*, ** = significativo para $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente; n = número de pares de valores en la correlación.

of a substrate is diverse, and that porosity and water movement depend on it.

Conclusions

The addition of up to 40 % rice husk biochar to the universal growth medium (peat moss) does not alter physical properties (total porosity, aeration porosity and water-holding porosity). The growth of cucumber seedlings with a 20 % biochar mixture is similar in stem length, fresh biomass, dry biomass and leaf area with respect to seedlings grown under 100 % commercial peat moss; that is, rice husk biochar can be an alternative to partially replace commercial peat moss in the production of cucumber seedlings.

Acknowledgments

The first author thanks Mexico's National Council of Science and Technology (CONACYT) for the scholarship granted for his Ph.D. studies (scholarship holder: 243072; CVU: 260303) in Agricultural Sciences and Rural Development.

End of English version

References / Referencias

- Albuquerque, J. A., Calero, J. M., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2014). Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 16-25. doi: 10.1002/jpln.201200652

Análisis de correlación

En el Cuadro 5 se muestra el resumen de las variables con mayor asociación, en donde se detectaron correlaciones positivas ($P \leq 0.01$) entre PT-LT, PT-PFBA, PT-AF, PT-PSBA, PRH-LT, PRH-PFBA, PRH-AF y PRH-PSBA. Se observó que los tratamientos T1 y T3 tuvieron mayor PT, por lo que presentaron mayor capacidad de retención de humedad y menor densidad; características que favorecieron el crecimiento y el desarrollo de las plántulas. Asimismo, se detectó una correlación positiva ($P \leq 0.05$) entre PA-PSBA.

Por otro lado, se detectaron correlaciones negativas ($P \leq 0.01$) en DA-LT, DA-PFBA, DA-AF, DA-PSBA y DA-PSBR (Cuadro 5). Los tratamientos T1 y T3 presentaron valores bajos en DA, pero exhibieron plantas con mayor LT, PFBA, PSBA y PSBR. Esto indica que la DA de $0.20 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ tiene un impacto negativo en el crecimiento y desarrollo de la planta. Al respecto, Gayosso-Rodríguez, Borges-Gómez, Villanueva-Couoh, Estrada-Botello, y Garruña-Hernández (2016) señalan que la densidad de un sustrato es diversa, y que de ésta dependen la porosidad y el movimiento del agua.

Conclusiones

La adición de hasta 40 % de biocarbón de cascarilla de arroz al medio de crecimiento universal (turba) no altera las propiedades físicas (porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad). El crecimiento de plántulas de pepino con mezcla de biocarbón al 20 % es similar en longitud de tallo, biomasa fresca, biomasa seca y área foliar con respecto a las plántulas cultivadas bajo 100 % de turba comercial;

- Anicua-Sánchez, R., Gutiérrez-Castorena, M. C., Sánchez-García, P., Ortiz-Solorio, C., Volke-Halle, V. H., & Rubiños-Panta, E. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlite y zeolite. *Agricultura Técnica en México*, 35(2), 147-156. Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=60812688002>
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., & 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. doi: 10.17584/rcch.2013v7i1.2035
- Bento, L. R., Castro, A. J. R., Moreira, A. B., Ferreira, O. P., Bisinoti, M. C., & Melo, C. A. (2019). Release of nutrients and organic carbon in different soil types from hydrochar obtained using sugarcane bagasse and vinasse. *Geoderma*, 334, 24-32. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.07.034
- Bethancourt, G., James, A., Villarreal, J. E., & Marin-Calvo, N. (2019). Biomass carbonization -production and characterization of biochar from rice husk. *International Engineering, Sciences and Technology Conference*, 7. doi: 10.1109/iestec46403.2019.00016
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81, 687-711. doi: 10.2136/sssaj2017.01.0017
- Blok, C., van der Salm, C., Hofland-Zijlstra, J., Stremenska, M., Eveleens, B., Regelink, I., Fryda, L., & Visser, R. (2017). Biochar for horticultural rooting media improvement: evaluation of biochar from gasification and slow pyrolysis. *Agronomy*, 7(1), 1-23. doi: 10.3390/agronomy7010006
- Bracho, J., Pierre, F., & Quiroz, A. (2009). Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado de Lara, Venezuela. *Bioagro*, 21(2), 117-124. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612009000200006
- Cabrera, R. I. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(1), 5-11. doi: 10.5154/r.rchsh.1998.03.025
- Calva, C., & Espinosa, J. (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. doi: 10.29166/siembra.v4i1.505
- Cho, M. S., Meng, L., Song, J., Han, S. H., Bae, K., & Park, B. B. (2017). The effects of biochars on the growth of *Zelkova serrata* seedlings in a containerized seedling production system. *Forest Science and Technology*, 13(1), 25-30. doi: 10.1080/21580103.2017.1287778
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2000). *Estudios, muestreos y análisis. Proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000*. México: Secretaría de Gobernación. Retrieved from http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=756861&fecha=07/12/2001
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Huang, X., Li, Z., Tan, X., Zeng, G., & Zhou, L. (2017). Potential benefits of biochar in agricultural soils: A review. *Pedosphere*, 27(4), 645-661. doi: 10.1016/S1002-0160(17)60375-8
- 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. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57346617009>
- García, C. O., Alcántar, G. G., Cabrera, R. I., Gavi, R. F., & Volke, H. V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum allisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana*, 19(3), 249-258. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319306.pdf>
- Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., & Garruña, R. (2018a). Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia*, 52(4), 639-652. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000400639
- Gayosso-Rodríguez, S., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., & Garruña, R. (2018b). Caracterización físico-química de mezclas de residuos orgánicos utilizados como sustratos agrícolas. *Bioagro*, 30(3), 179-198. Retrieved from <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2716/1698>
- Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., & Garruña-Hernández, R. (2016). Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30246698007>
- Guo, Y., Niu, G., Starman, T., Volder, A., & Gu, M. (2018). Poinsettia growth and development response to container root substrate with biochar. *Horticulturae*, 4(1), 2-14. doi: 10.3390/horticulturae4010001
- Gutiérrez-Castorena, M. C., Hernández-Escobar, J., Ortiz-Solorio, C. A., Anicua-Sánchez, R., & 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. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60921383009>

Agradecimientos

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

Fin de la versión en español

- Herrera, E., Feijoo, C., Alfaro, R., Solís, J., Gómez, M., Keiski, R., & Cruz, G. (2018). Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (sapote). *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 569-577. doi: 10.17268/sci.agropecu.2018.04.13
- Huang, L., & Gu, M. (2019). Effects of biochar on container substrate properties and growth of plants-A review. *Horticulturae*, 5(1), 2-25. doi: 10.3390/horticulturae50100147
- Iglesias-Abad, S., Alvarez-Vera, M., Vázquez, J., & Salas-Macías, C. (2020). Biochar de biomasa residual de eucalipto (*Eucalytus globulus*) mediante dos métodos de pirólisis. *Manglar*, 17(2), 105-111. doi: 10.17268/manglar.2020.016
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). *Containers and growing media. The container tree nursery manual*. Washington D. C., USA: USDA Forest Service.
- Mathias-Schlegel, M., Ibrahim, B., Kipping-Rössel, D., Ortiz-Laurel, H., & Frías, J. (2018). Generación de biocarbón a partir del material sólido en la hidrólisis aeróbico-microbiológica. *Agroproductividad*, 11(11), 27-33. doi: 10.32854/agrop.v11i11.1279
- Medina-Orozco, L. E., & Medina-Orozco, I. N. (2017). Prototipo autotérmico móvil para la producción de biocarbón con biomasa de esquilmos de aguacate. *Terra Latinoamericana*, 36(2), 121-129. doi: 10.28940/terra.v36i2.217
- Morales-Maldonado, E. R., & Casanova-Lugo, F. (2015). Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 365-372. doi: 10.15517/am.v26i2.19331
- Pérez-Salas, R. A., Tapia-Fernández, A. C., Soto, G., & Bemjamin, T. (2013). Efecto del biocarbón sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* y el desarrollo de plantas de banano (Musa AAA). *Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica*, 14(27), 66-100. Retrieved from <https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v14n27/a04v14n27.pdf>
- Pire, R., & Pereira, A. (2003). Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado de Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro*, 15(1), 55-64. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85715107>
- Pratiwi, E. P., Hillary, A. K., Fukuda, T., & Shinogi, Y. (2016). The effects of rice husk char on ammonium, nitrate and phosphate retention and leaching in loamy soil. *Geoderma*, 277, 61-68. doi: 10.1016/j.geoderma.2016.05.006
- Rodríguez, A., Lemos, D., Trujillo, Y. T., Amaya, J. G., & Ramos, L. D. (2019). Effectiveness of biochar obtained from corn cob for immobilization of lead in contaminated soil. *Journal of Health & Pollution*, 9(23), 1-10. doi: 10.5696/2156-9614-9.23.190907
- 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. Retrieved from <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/267>
- Sánchez-Reinoso, A. D., Ávila-Pedraza, E. A., & Restrepo-Díaz, H. (2020). Use of biochar in agriculture. *Acta Biológica Colombiana*, 25(2), 327-338. doi: 10.15446/abc.v25n2.79466
- SAS Institute. (2004). *SAS/STAT users guide version 9.1*. New York, USA: SAS Institute.
- Singh, A., Singh, A. P., & Purakayastha, T. J. (2019). Characterization of biochar and their influence on microbial activities and potassium availability in an acid soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(9), 1302-1315. doi: 10.1080/03650340.2018.1563291
- Velázquez-Maldonado, J., Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alejo-Santiago, G., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejacal, I., ... & Guillén-Sánchez, D. (2019). Concentración nutricional de biocarbón de cascarilla de arroz. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 42(2), 129-136. Retrieved from <https://revfitotecnica.mx/index.php/RFM/article/view/31/20>
- Wacal, C., Ogata, N., Basalirwa, D., Handa, T., Sasagawa, D., Acidri, R., ... & Nishihara, E. (2019). Growth, seed yield, mineral nutrients and soil properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by biochar addition on upland field converted from paddy. *Agronomy*, 9(2), 55. doi: 10.3390/agronomy9020055
- Webber, C., White, P., Spaunhorst, D., & Petrie, E. (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). doi: 10.5539/jas.v9n7p1
- Webber, C., White, P., Spaunhorst, D., Lima, I., & Petrie, E. (2018). Sugarcane biochar as an amendment for greenhouse growing media for the production of cucurbit seedlings. *Journal of Agricultural Science*, 10(2), 104-115. doi: 10.5539/jas.v10n2p104
- Zahid, Z., Iftikhar, S., Ahmad, K. S., & Gul, M. M. (2018). Low-cost and environmental-friendly *Triticum aestivum* derived biochar for improving plant growth and soil fertility. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(22), 2814-2827. doi: 10.1080/00103624.2018.1546869
- Zhang, X., Luo, Y., Müller, K., Chen, J., Lin, Q., Xu, J., ... & Wang, H. (2016). Research and application of biochar in China. *Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers* (pp. 377-407). USA: SSSA Special Publications. doi: 10.2136/sssaspecpub63.2014.0049

