

Evaluación de biocarbón de caña de azúcar en el desarrollo de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en condiciones de vivero

Evaluation of sugar cane biochar in the development of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl in forest nursery

Guadalupe Pérez-González¹ , Claudia Hidalgo-Moreno^{1‡} , Jorge Dionisio Etchevers-Barra¹ , Ben de Jong² , Sergio Salgado-García¹ , Esteban Valtierra-Pacheco¹  y Miguel Ángel López-López¹ 

¹ Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

[‡] Autora para correspondencia (hidalgo@colpos.mx)

² El Colegio de la Frontera Sur. Av. Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial. 24500 Lerma Campeche, Campeche, México.

RESUMEN

Existe la necesidad de sustituir componentes de los sustratos para el desarrollo de las plántulas en vivero forestal, por productos de bajo costo y sobre todo por materiales renovables. El biocarbón es liviano, poroso y presenta una alta capacidad de retención de agua. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el uso de biocarbón a base de bagazo de caña de azúcar en la producción de plantas de pino prieto (*Pinus greggii* Engelm. ex Parl.), bajo condiciones de vivero. Se evaluaron cuatro tratamientos: (a) biocarbón con suelo forestal, (b) sustrato forestal (mezcla de 12.5% peat moss, 12.5% agrolita, 25% vermiculita y 50% corteza de pino), (c) biocarbón con sustrato forestal, ambos en una relación 1:9 (biocarbón:suelo, biocarbón:sustrato), y (d) suelo forestal solo. Se evaluó el efecto del biocarbón y de la fertilización (N, P y K) en el desempeño de los tratamientos en suelo y sustrato forestal. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, biomasa aérea, biomasa radical, biomasa total aérea, a relación biomasa aérea/radical; además la concentración de nutrientes acumulados (N, P, Ca, Mg, K y Na) en la parte aérea y radical. Los resultados obtenidos indican que como resultado de la adición de biocarbón al suelo y la fertilización, la altura, diámetro, biomasa (aérea y total) de pino prieto,

fueron semejantes a las obtenidas en sustrato forestal, solo o combinado con biocarbón. Estos resultados se asociaron a la adición de biocarbón al suelo que incrementó la absorción de N y su concentración en la biomasa aérea, y favoreció la disponibilidad de Mg, Ca, K y P, éstos dos últimos elementos adicionados en la fertilización. Se concluye que la combinación de biocarbón y suelo en una relación (1:9) (p/p) con adición de fertilizante (N, P y K) puede ser empleado en el desarrollo de *Pinus greggii* Engelm ex Parl en vivero.

Palabras claves: bagazo de caña, biocarbón, suelo, sustrato forestal, vivero.

SUMMARY

There is a need to replace components of substrates for the development of seedlings in forest nursery, with low-cost products and especially with local and renewable materials. Sugarcane bagasse biochar is lightweight, porous and has a high-water retention capacity. Therefore, the objective of this study was to evaluate the response of biochar based on sugarcane bagasse to produce white pine (*Pinus greggii* Engelm. ex Parl) plants under nursery conditions. Four treatments were evaluated: (a) biochar with forest soil,

Cita recomendada:

Pérez-González, G., Hidalgo-Moreno, C., Etchevers-Barra, J. D., de Jong, B., Salgado-García, S., Valtierra-Pacheco, E. y López -López, M. Á. (2021). Evaluación de biocarbón de caña de azúcar en el desarrollo de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en condiciones de vivero. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-9. e1343. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.1343>

Recibido: 20 de agosto de 2021. Aceptado: 16 de diciembre de 2021.
Artículo. Volumen 39, diciembre de 2021.

(b) forest substrate (composed of 12.5% peat moss, 12.5% agrolite, 25% vermiculite, 50% pine bark), (c) biochar with forest substrate, both in a 1:9 ratio (biochar:soil, biochar:substrate), and (d) forest soil. The effect of fertilization (N, P and K) and biochar on the performance of treatments in soil and forest substrate was evaluated. The growth variables evaluated were plant height, stem diameter, total aerial biomass, total root biomass, aerial/root biomass ratio, and the concentration of accumulated nutrients (N, P, Ca, K, Na and Mg) in the aerial and root parts. The results obtained indicate that as a consequence of the addition of biochar to the soil and fertilization, the height, diameter, biomass (aerial and total) of *Pinus greggii* were similar to obtained in forest substrate, alone or combined with biochar. These results were associated with the addition of biochar to the soil that increased the absorption of N and its concentration in the aerial biomass, and favored the availability of Mg, Ca, K and P, these last two elements added in fertilization. It is concluded that the combination of biochar and soil in a ratio (1: 9) (p/p) with the addition of fertilizer (N, P and K) can be used in the development of *Pinus greggii* Engelm ex Parl in the nursery.

Index words: sugarcane bagasse, biochar, soil, nutrient concentration, nursery.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos diez años se ha buscado sustituir componentes de los sustratos para el desarrollo de las plántulas en vivero forestal, por productos de bajo costo y sobre todo por materiales locales y renovables. Uno de estos materiales propuestos es el biocarbón (biochar), producto semi-carbonizado obtenido por el tratamiento térmico de la biomasa bajo un entorno limitado o sin oxígeno (pirólisis) (Lehmann y Joseph, 2009). El biocarbón, ha sido propuesto para ser empleado principalmente como enmienda para suelos agrícolas (Lehmann y Joseph, 2009) debido a que favorece la retención

de nutrientes (Clough y Condron, 2010), mejora la estructura del suelo (Liu, Han y Zhang, 2012) y; estimula las poblaciones microbianas, entre otros beneficios. Los biocarbones pueden ser ácidos o alcalinos. Aquellos con pH alcalino pueden ser usados como materiales de encalado en suelos ácidos (Novak *et al.*, 2009). Se ha reportado que el biocarbón de caña de azúcar posee una alta capacidad de retención de nutrientes, elevada porosidad, capacidad de retención de agua y alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) (122 cmol kg^{-1}), similar a la de arcillas, como vermiculita y montmorillonita (Uras, Carrier, Hardie y Knoetze, 2012). Este biocarbón, además tiene la capacidad de aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes (Quirk *et al.*, 2012). Biocarbones de aserrín y de bagazo de caña de azúcar poseen características físicas importantes, como baja densidad aparente (0.15 g cm^{-3}) y otras propiedades semejantes a la de la turba (Steiner and Harttung, 2014). Este valor está dentro de los rangos sugeridos por De Boodt, Verdonck y Cappaert (1974) para materiales usados como sustrato. El objetivo de este trabajo fue evaluar la adición de biocarbón de bagazo de caña de azúcar a suelo forestal para la producción de plantas de *Pinus greggii*, bajo condiciones de vivero. El uso de biocarbón combinado con diversos materiales apunta a sustituir sustratos comerciales como el peat moss, la agrolita y, la vermiculita, materiales que son de alto costo (Fain, Gilliam, Sibley, Boyer y Witcher, 2008; Altland y Locke, 2012; Northup, 2013¹). Adicionalmente, se consideró que, esta propuesta ofrece la posibilidad de capturar carbono en el suelo, una vez trasplantados los árboles a zonas boscosas. Se ha demostrado que la estabilidad del biocarbón es de miles de años (Lehman y Joseph, 2009). El biocarbón se ha considerado dentro de las estrategias para capturar carbono en el suelo. Este trabajo también contribuye a los esfuerzos realizados por otros investigadores para dar a conocer, en México, los usos de este material (Escalante, 2014²; Rojas, 2017³; Chávez y Siebe, 2019; Chávez, Aguillón, Sánchez y Siebe, 2020; Núñez, Aguirre, Hidalgo, Carrillo y Etchevers, 2020).

¹ Northup, J. (2013). Biochar as a replacement for perlite in greenhouse soilless substrates. Graduate Theses and Dissertations. 13399. Iowa State University. <https://lib.dr.iastate.edu/etd/13399>

² Escalante Rebolledo, M. A. (2014). *Biocarbones (Biochars), caracterización y efectos en la biomasa y nutrición de NPK en una gramínea*. Tesis de Doctorado en Ciencias, especialista en Edafología. Colegio de Postgraduados. <https://www.repositorionacionalcti.mx/recurso/oai:colposdigital.colpos.mx:10521/2209>

³ Rojas-Pérez, T. (2017) *Uso del biochar para mejorar la calidad de plantas de café (Coffea arabica)*. Tesis de Maestría en Ciencias, especialista en Edafología. Colegio de Postgraduados. URI: <http://hdl.handle.net/10521/3937>

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental. El experimento se llevó a cabo en el vivero forestal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en Texcoco, Estado de México.

Diseño experimental y tratamientos. Se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4×2 (cuatro sustratos y dos dosis de fertilización: con y sin fertilizante), que generó ocho tratamientos de estudio con 10 repeticiones cada uno, para un total de 80 unidades experimentales.

Biocarbón. Se usó un pirolizador artesanal diseñado por la Red Mexicana de Bionergía (REMBIO) constituido por un tubo metálico cerrado por ambos lados. El tubo se mantuvo girando durante 4 horas al fuego, a una temperatura de 600 °C y en posición horizontal. Se utilizó bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) de 4 a 5 mm aproximadamente. Una vez completado el proceso de pirólisis, se pasó el contenido del tubo por cuatro tamices, malla 4 (4.76 mm), malla 6 (3.36 mm), malla 20 (0.84 mm) y malla 40 (0.42 mm). Se seleccionaron las fracciones comprendidas entre 3.36 y 0.84 mm, porque fueron las más abundantes. El biocarbón se dejó enfriar dentro del tubo hasta el día siguiente, se sacó del tubo y se trasladó al laboratorio para su caracterización.

Las características del biocarbón de bagazo de caña de azúcar (BCA) evaluadas en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados (Lafer) fueron: tamaño de partícula entre 3.36 y 0.84 mm, carbono total 82% (Ct), nitrógeno total 0.6% (Nt), relación carbono: nitrógeno (C/N) 136, fósforo total 0.16% (Pt), potasio total 0.50% (Kt), calcio total 0.74% (Cat), magnesio total 0.74% (Mgt), sodio total 0.31% (Nat), 2.6% de materia volátil, 15% de ceniza y 0.2% de humedad. El biocarbón presentó un pH de 9.4 en agua (relación 1:10), una conductividad eléctrica de 0.67 dS m⁻¹, baja (1.30 cmol kg⁻¹) capacidad de intercambio catiónico (CIC) y de bases de intercambio: 2.1 cmol K⁺ kg⁻¹, 1.15 cmol Ca²⁺ kg⁻¹, 0.35 cmol Mg²⁺ kg⁻¹ y 0.27 cmol Na⁺ kg⁻¹.

Suelo forestal. Se utilizó un Andosol de la zona boscosa aldeaña al monte Tláloc, ubicado en Texcoco, Estado de México. Se obtuvo el suelo de los primeros 30 cm, después de eliminar el mantillo de la superficie. El suelo se tamizó a malla 2 mm. Las características químicas evaluadas en el Lafer fueron: pH 6.5 en agua (relación 1:2) por lo que se consideró como moderadamente ácido.

Presentó un alto contenido de bases intercambiables: 0.83 cmol K⁺ kg⁻¹, 4.5 cmol Mg²⁺ kg⁻¹, 0.5 cmol Na⁺ kg⁻¹ y 9.6 cmol Ca²⁺ kg⁻¹, y una CIC de 10.5 cmol kg⁻¹. El contenido de Nt (0.4%) fue bajo y el de P extraíble con método Bray 1 fue 7.5 mg kg⁻¹.

Tratamientos evaluados. (1) biocarbón de bagazo de caña de azúcar con suelo forestal en una relación 1:9 (biocarbón: suelo) (p/p) (BCA+C), (2) sustrato forestal (mezcla de 12.5% peat moss, 12.5% agrolita, 25% vermiculita y 50% corteza de pino) (M), (3) biocarbón de bagazo de caña de azúcar con sustrato forestal en una relación 1:9 (p/p) (biocarbón : sustrato forestal) (BCA+M), y (4) suelo forestal (C).

Tratamiento de fertilización. Éste consistió en la aplicación de dos dosis de fertilizante hidrosolubles. Para la primera se utilizó Fertilizer soluble® (20-20-20) compuesto por nitrógeno (9.8% urea, 4.8% nitrógeno amoniacal y 5.4% de nitrógeno nítrico), fósforo (20% P₂O₅) y potasio (20% K₂O) a razón de cinco gramos de fertilizante por litro de agua, que se aplicó diariamente durante la etapa de crecimiento (27-152 DDS). La segunda dosis de fertilización se realizó del día 152 al 244 DDS con Technigro® 4-25-35 (Sungro Horticulture) compuesto por nitrógeno (1.1% de nitrógeno amoniacal y 2.9% de nitrógeno nítrico), fósforo (25% P₂O₅) y potasio (35% K₂O) a razón de cinco gramos del fertilizante por litro de agua. Las plantas del tratamiento sin fertilizante, únicamente se regaron con agua destilada durante todo el ciclo. Como se ha reportado que el biocarbón puede potenciar el efecto de la fertilización, se evaluaron los cuatro tratamientos con y sin fertilización.

Manejo en vivero. Cada sustrato se colocó en bandejas-semilleros para uso forestal de 200 cavidades. Y posteriormente se sembraron de cinco a 10 semillas de *Pinus greggi* directamente en cada sustrato, a medio centímetro de profundidad. Una vez que germinaron, se conservó una sola planta por cavidad. El riego se hizo diariamente, desde el inicio de la siembra hasta la germinación (día 27 después de la siembra) (DDS), así mismo durante esta etapa se aplicó en una sola ocasión, el fungicida químico captan 50 WP® Adama, mediante el riego, en dosis de un gramo por litro de agua, para evitar el desarrollo de hongos fitopatógenos. Una vez que la planta alcanzó en promedio 13 cm de altura, el riego se aplicó cada dos días hasta los 152 DDS, y a partir de ese momento los riegos se aplicaron cada tercer día hasta el término del experimento (244 DDS).

Variabes de respuesta. Se evaluaron a los ocho meses de establecido el experimento (244 DDS). La altura de la planta se midió con regla graduada de 30 cm, desde la base superior del sustrato hasta la yema principal de la planta. El diámetro o grosor de tallo, se midió a ras del suelo con vernier digital marca Mitutoyo con precisión de 0.01 mm. La parte aérea (acículas y tallo) y la parte subterránea (raíz) se lavaron con agua destilada en charolas plásticas, se eliminó el exceso de agua, se colocaron a secar en sobres de papel en una estufa con circulación forzada de aire a 70 °C, hasta obtener un peso constante. Una vez seco el material, se determinó el peso de la parte aérea, (biomasa aérea) (BA), y de la parte radical (biomasa radical) (BR) con una balanza analítica (0.01 g). La biomasa total (BT) corresponde a la suma de las biomásas aérea y radical. La relación parte aérea-radical (A/R), se calculó como el cociente obtenido entre el peso de las biomásas aérea y radical expresadas en gramos (Thompson, 1985). La parte aérea se conformó por hojas (acículas) y tallo, la parte subterránea fue conformada por la raíz.

Análisis de material vegetal. En el material vegetal molido se determinaron los elementos totales (P, Ca, Na, Mg y K). Para solubilizar los elementos se usó una

digestión ácida ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$) (4:2) (v/v) y una placa digestora. El fósforo se cuantificó con espectroscopía uv-vis. El resto de los elementos se determinaron con espectroscopía de emisión (K) y de absorción atómica (Ca, Na y Mg). El nitrógeno total se determinó por el procedimiento semi-microkjeldahl.

Análisis estadístico. Para todas las variables, se realizó un ANOVA y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, con el paquete Statistical Analysis System (SAS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de las Variables de Crecimiento

La adición de biocarbón al sustrato forestal (BCA+M) y al suelo (BCA+C) condujo a una disminución de la altura, el diámetro, la biomasa aérea, radical y total, en los tratamientos sin fertilizante (Cuadro 1). La relación parte aérea/radical no mostró diferencias significativas como resultado de la adición de biocarbón.

La disminución de la altura y la biomasa aérea, como resultado de la adición de biocarbón, se

Cuadro 1. Valores medios de las variables de crecimiento de *Pinus greggii* en los tratamientos evaluados antes y después de fertilización. Table 1. Mean values of the growth variables of *Pinus greggii* in the treatments evaluated before and after fertilization.

Tratamiento	Altura cm	Diámetro mm	BA g	BR g	BT g	Relación parte aérea/radicular
Sin fertilizante						
BCA+C	8.80 c	1.87 c	0.27 c	0.15 b	0.38 c	2.00 a
M	22.60 a	4.06 a	2.64 a	1.24 a	3.88 a	2.15 a
BCA+M	18.20 ab	3.76 ab	2.14 ab	1.06 a	3.26 ab	2.18 a
C	9.75 b	2.05 bc	0.57 bc	0.42 b	1.00 d	1.49 a
Con fertilizante						
BCA+C	19.87 b	4.49 ab	3.52 ab	0.97 b	4.50 ab	3.51 a
M	24.75 a	4.95 a	4.70 a	1.40 a	6.10 a	3.43 a
BCA+M	21.80 ab	4.80 a	3.90 ab	1.52 a	5.44 a	2.73 a
C	15.60 c	3.73 c	1.63 c	0.53 b	2.16 c	3.32 a

BA = biomasa aérea; BR = biomasa radical; BT = biomasa total; BCA + C = biocarbón de bagazo de caña+ suelo forestal; M = sustrato forestal constituido por peat moss, agrolita, vermiculita y corteza de pino, 12.5%, 12.5%, 25%, 50%; BCA+M = bio carbón de bagazo de caña + sustrato forestal; C = suelo forestal. Medias con la misma literal en las columnas son iguales estadísticamente (ANOVA), prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

BA = aerial biomass; BR = root biomass; BT = total biomass; BCA + C = biochar from cane bagasse + forest soil; M = forest substrate made up of peat moss, agrolite, vermiculite and pine bark, 12.5%, 12.5%, 25%, 50%; BCA + M = bio sugar cane bagasse + forest substrate; C = forest floor. Means with the same literal in the columns are statistically equal (ANOVA), Tukey's test ($P \leq 0.05$).

mantuvo en el tratamiento con sustrato forestal, aún después de adicionar fertilizante. Las otras variables de crecimiento evaluadas no mostraron diferencias significativas. Sin embargo, en el caso del suelo (M), el biocarbón y la adición de fertilizante condujo a un aumento en la altura, diámetro, biomasa aérea y biomasa total. No así la biomasa radical que no mostró diferencias significativas. La fertilización permitió constatar el efecto positivo de la adición de biocarbón al suelo, que no pudo ser observado sin fertilización. Una mayor biomasa aérea permite aumentar la capacidad para almacenar carbohidratos (Prieto-Ruíz, 1999). En general, los valores medios de las variables de crecimiento evaluadas fueron mayores en los tratamientos con sustrato forestal (Cuadro 1), considerándose a éstos como los mejores tratamientos. Estos resultados apoyan reportes que indican que el biocarbón favorece la altura y el desarrollo de las biomasa aérea y radical de plantas de pino (*Pinus sp.*), maíz (*Zea mays*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en vivero (Lehmann y Joseph, 2009; Novak *et al.*, 2009). En los tratamientos donde se adicionó biocarbón, el diámetro, biomasa aérea y biomasa radical fueron mayores a los reportados por Sáenz, Muñoz, Pérez, Rueda y Hernández (2018) (diámetro 3.6 mm, biomasa aérea 2.27 g y biomasa radical 0.61 g) para *Pinus greggii* a la edad de 9 meses. El aumento en el diámetro favorece el transporte de agua y nutrientes (Cleary, Greaves y Owston, 1978), lo que ayuda al desarrollo de la biomasa aérea (Krizek, Carmi, Mirecki, Snyder y Bunce, 1985). Los mismos autores reportaron mayor altura (36.5 cm) de las plantas que la obtenida en este trabajo (16 a 25 cm). Fascella (2015) reporta que la combinación de biocarbón con peat moss y perlita (40 a 60% del peso total) promueve el desarrollo de plantas ornamentales con mayor altura. Si bien, la relación parte aérea/radical no presentó diferencias significativas en los cuatro tratamientos evaluados (Cuadro 1), con y sin fertilización, se observó una tendencia de aumento de esta relación con la adición de biocarbón al suelo (BCA+C) y al sustrato forestal (BCA+M). Lo anterior indicaría un potencial favorecimiento del biocarbón al desarrollo de las hojas y tallo (parte aérea). Sin embargo, en la literatura se reporta con mayor frecuencia el efecto del biocarbón sobre el desarrollo de la raíz, que es el principal órgano de suministro de nutrientes de la planta (Macklon, Mackie, Sim, Shand y Lilly, 1994; Makoto, Choi, Hashidoko y Koike, 2010; Lehmann

et al., 2011). De acuerdo con Kadota y Niimi (2004), es difícil observar diferencias significativas en variables de crecimiento en plantas en vivero.

Variables Nutrimientales parte Aérea y Radical

La determinación de elementos nutrimentales en las partes aérea y radical, en los tratamientos sin fertilización, indicó aumento de N por la adición de biocarbón al suelo (C) y al sustrato forestal (M). Lo anterior indica que el biocarbón promovió la disponibilidad de nitrógeno. En el resto de los elementos analizados (P, K, Ca, Mg y Na), en los cuatro tratamientos evaluados, no se observaron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 2). Esto indica que la adición de biocarbón al suelo (C) o al sustrato forestal (M), sin fertilización, no tiene consecuencia sobre el contenido nutrimental en las hojas, tallo y raíz, con excepción de N que aumentó con adición de biocarbón.

Los porcentajes de nitrógeno variaron de 0.79 a 1.64% en los tratamientos sin fertilización, en la parte aérea y radical. La parte aérea de los tratamientos en suelo (solo o con adición de biocarbón) mostró porcentajes de 1.43 y 1.64 %N, respectivamente. Estos porcentajes se encuentran dentro del rango reportado por Mead y Pritchett (1975), Foster, Beauchamp y Corke (1985), Millard y Proe (1993) (1 y 2% N) y considerado como el más frecuentemente en follaje de coníferas. Estos valores también se encuentran dentro del rango 1.3 a 3.5% N reportado por Landis (1985), como rango óptimo de nitrógeno para coníferas. Sin embargo, son menores a los reportados por Toral (1997) (1.7 y 2.3%). Este último autor reporta también que el porcentaje de N difiere según las especies de coníferas. La concentración de fósforo obtenida en la biomasa aérea y radical, sin fertilizante, varió de 0.10 a 0.22%, porcentajes muy cercanos al intervalo inferior (0.2-0.6%) reportado por Landis (1985) considerado como adecuado. Warncke (2011) sugiere que una cantidad de 6 a 10 mg de P es suficiente para el crecimiento de la mayoría de las plantas en viveros usando biocarbón. Mientras que la concentración de potasio varió entre 0.85 a 1.95%, en los tratamientos sin fertilización, en la parte aérea y radical, fue muy cercana al rango 0.7 a 2.5% propuesto por Landis (1985) para el potasio en follaje de coníferas. El potasio es un elemento que requiere la planta en una mayor cantidad para la regulación de la turgencia de

Cuadro 2. Concentración de elementos nutrimentales en la biomasa aérea y radical de *Pinus greggii* en los tratamientos sin fertilización.
Table 2. Concentration of nutrient elements in the aerial and root biomass of *Pinus greggii* in the treatments without fertilization.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Na
----- % -----						
Aérea						
BCA+C	1.64 a	0.19 a	1.95 a	0.66 a	0.41 a	0.04 a
M	0.79 bc	0.16 a	1.40 a	0.49 a	0.37 a	0.04 a
BCA+M	0.81 c	0.14 a	1.70 a	0.36 a	0.36 a	0.04 a
C	1.43 ab	0.12 a	1.15 a	0.66 a	0.48 a	0.06 a
Radical						
BCA+C	1.33 a	0.19 a	1.45 a	0.38 a	0.44 a	0.19 a
M	1.39 a	0.20 a	1.05 a	0.38 a	0.39 a	0.20 a
BCA+M	0.85 a	0.22 a	0.85 a	0.33 a	0.31 a	0.19 a
C	0.79 a	0.10 a	1.13 a	0.65 a	0.38 a	0.19 a

BCA+ C = biocarbón de bagazo de caña+ Suelo forestal; M = peat moss, agrolita, vermiculita y corteza de pino, 12.5%,12.5%, 25%, 50%; BCA+ M = biocarbón de bagazo de caña + peat moss, agrolita, vermiculita y corteza de pino, 12.5%,12.5%, 25%, 50%; C = suelo forestal. Medias con la misma literal en las columnas son iguales estadísticamente (ANOVA), prueba Tukey ($P \leq 0.005$).

BCA + C = biochar from sugarcane bagasse + Forest soil; M = peat moss, agrolite, vermiculite and pine bark, 12.5%, 12.5%, 25%, 50%; BCA + M = biochar from cane bagasse + peat moss, agrolite, vermiculite and pine bark, 12.5%, 12.5%, 25%, 50%; C = forest floor. Means with the same literal in the columns are statistically equal (ANOVA), Tukey test ($P \leq 0.005$).

las células, y el potencial osmótico, una deficiencia afecta el crecimiento de la raíz. Yeager *et al.* (2007), mencionan que en tratamientos con biocarbón se deben aplicar de 30 a 50 mg de K, para un buen desarrollo de la planta, ya que el K, en el biocarbón no es suficiente. Calcio, magnesio y sodio no se evalúan frecuentemente en coníferas al considerarse que no son de alta disponibilidad.

La adición de biocarbón y fertilizante al suelo (C) favoreció la absorción de N y K en la biomasa aérea (1.60% y 1.73%, respectivamente) (Cuadro 3). La misma tendencia se observó para N, P y Mg (1.27%, 0.24% y 0.36%, respectivamente) en el sustrato forestal (M), aun cuando, las diferencias no fueron significativas respecto al suelo (C) y sustrato (M) solos. Quirk *et al.* (2012) reportaron que el biocarbón aumenta la disponibilidad para asimilar los fertilizantes. En el caso de N se obtuvieron diferencias significativas para el efecto del tratamiento ($P = 0.0008$), la fertilización ($P = 0.0001$) y la interacción tratamiento y fertilización ($P = 0.0006$). Lo que indica que el tratamiento y la fertilización influyeron en la concentración de N en la parte aérea. El biocarbón incrementa la absorción de N y su concentración en la biomasa aérea. Para fósforo, la significancia fue significativa para la fertilización

($P = 0.0015$), lo que indica que ésta influyó en la concentración de este elemento en la parte aérea. En los casos de K y Ca el tratamiento también influyó en la concentración de estos elementos en la parte aérea (significancias $P = 0.021$ y $P = 0.006$, respectivamente).

En el Cuadro 3 también se observa que la adición de biocarbón y fertilizante al suelo (BCA + C), promovió una mayor concentración de P (0.352%) y K (1.40%) en la raíz, lo que se confirma por el análisis de varianza (ANOVA) que mostró alta significancia en ambos casos P ($P = 0.0004$) y K ($P = 0.0005$). Estos resultados apoyan lo señalado por Atkinson, Fitzgerald y Hipps (2010) que reportan un aumento en la disponibilidad y absorción de los nutrimentos por las plantas la adición como resultado de la aplicación de biocarbón. El aporte de K (Yeager *et al.*, 2007) y P (Warncke, 2011) ha sido recomendado para obtener un buen desarrollo de plantas en viveros. Para Ca, Mg y Na no se encontró significancia estadística. En el caso de N, donde no se obtuvo diferencias significativas por efecto de la adición de biocarbón y fertilizante al suelo (C) y al sustrato forestal (M), el ANOVA mostró alta significancia N ($P = 0.0001$). Lo anterior confirma la acción del biocarbón en el incremento de la absorción de nitrógeno.

Cuadro 3. Nutrientes en biomasa aérea y radical en *Pinus greggii* valores medios en los tratamientos fertilizados.
Table 3. Nutrients in aerial and root biomass in *Pinus greggii* mean values in fertilized treatments.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	Na
----- % -----						
Aéreo						
BCA+C	1.60 a	0.18 a	1.73 a	0.59 a	0.34 a	0.045 a
M	1.07 c	0.20 a	1.36 ab	0.39 ab	0.33 a	0.04 a
BCA+M	1.27 bc	0.24 a	1.25 b	0.35 b	0.36 a	0.01 a
C	1.45 ab	0.18 a	1.59 ab	0.62 a	0.38 a	0.04 a
Significancia	0.0008	0.4900	0.02	0.023	0.66	0.48
Media	1.34	0.209	1.46	0.48	0.35	0.03
CV%	18.0	45.9	21.1	35.8	22.5	98.0
Radical						
BCA+C	1.60 a	0.352 a	1.40 a	0.44 ab	0.29 a	0.19 a
M	1.13 b	0.316 a	1.08 b	0.33 ab	0.33 a	0.20 a
BCA+M	1.15 b	0.359 a	0.97 b	0.28 b	0.28 a	0.19 a
C	1.55 a	0.20 b	1.09 b	0.53 a	0.33 a	0.19 a
Significancia	0.0001	0.0004	0.0005	0.0100	0.440	0.9900
Media	1.33	0.311	1.10	0.38	0.309	0.196
CV%	13.5	20.2	13.7	38.2	26.7	19.0

BA = biomasa aérea; BR = biomasa radicular; BTA = biomasa total. Trat = tratamientos; Fert = fertilizante; inte = interacción; BCA + C = biocarbón de bagazo de caña+ suelo forestal; M = sustrato forestal constituido por peat moss, agrolita, vermiculita y corteza de pino, 12.5%, 12.5%, 25%, 50%; BCA+M = biocarbón de bagazo de caña + sustrato forestal; C = suelo forestal. Medias con la misma literal en las columnas son iguales estadísticamente (ANOVA), prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

BA = aerial biomass; BR = root biomass; BTA = total biomass. Trat = treatments; Fert = fertilizer; inte = interaction; BCA + C = biochar from cane bagasse + forest soil; M = forest substrate made up of peat moss, agrolite, vermiculite and pine bark, 12.5%, 12.5%, 25%, 50%; BCA + M = sugarcane bagasse biochar + forest substrate; C = forest floor. Means with the same literal in the columns are statistically equal (ANOVA), Tukey's test ($P \leq 0.05$).

CONCLUSIÓN

El biocarbón agregado al suelo favoreció la absorción de N, P, K, adicionados en el fertilizante, y la disponibilidad de Mg y Ca, con incremento de altura, diámetro, biomasa aérea y biomasa total de *Pinus greggii* Engelm. Ex Parl en vivero. El efecto positivo del biocarbón no se constató en el sustrato forestal, aún después de fertilización. Tampoco se observó respuesta de las variables evaluadas a la adición de biocarbón, en los tratamientos sin fertilizante, hasta los 9 meses de desarrollo. La combinación de biocarbón y suelo en una relación (1:9) (p/p) con adición de fertilizante (N, P y K) puede ser empleada para el desarrollo de *Pinus greggii* Engelm ex Parl en vivero. La adición de biocarbón

al suelo forestal ofrece la opción de reducir el costo asociado a la producción de árboles, ya que se sustituiría o reduciría la cantidad de otros materiales que se usan actualmente como peat moss, agrolita, vermiculita. Si bien el uso de suelo no se considera un modelo sustentable para los viveristas, la combinación biocarbón con suelo usada en el vivero, será trasladada a zonas forestales conjuntamente con las plántulas de *Pinus greggii*. Esto constituye una potencial captura de carbono en el suelo, dada la elevada estabilidad del biocarbón de miles de años. En experiencias sucesivas se propone realizar evaluaciones a más largo plazo. Sería deseable probar otras dosis de biocarbón y fertilizante, así como considerar el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar en cultivos requeridos en zonas cercanas a los ingenios azucareros.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia en esta sección.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Las contribuciones de los coautores de esta publicación corresponden a las siguientes. G.P.G. estudiante de doctorado que realizó el trabajo experimental y la redacción inicial, C.H.M. responsable de la conceptualización, propuesta, seguimiento de metodología, revisiones y sometimiento para publicación, J.D.E.B. colaboró en la supervisión de trabajo experimental en el laboratorio y en la revisión de resultados, E.V.P. apoyó en la escritura del trabajo, B.H.J.J. fue consultado como experto en Ciencias Forestales, S.S.G. fue responsable de obtención del material empleado para la elaboración del biocarbón de caña de azúcar.

LITERATURA CITADA

- Altland, J. E., & Locke, J. C. (2012). Biochar affects macronutrient leaching from a soilless substrate. *HortScience*, 47(8), 1136-1140. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.8.1136>
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hipsley, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*, 337(1), 1-18.
- Cleary, B., Greaves, R., & Owston, W. (1978). Seedlings. In B. D. Cleary, R. D. Greaves, & R. K. Hermann (Eds.). *Regenerating Oregon's forests: a guide for the regeneration forester* (pp. 63-98). Corvallis, OR, USA: State University Extension Service.
- Clough, T. J., & Condon, L. M. (2010). Biochar and the nitrogen cycle. *Introduction. Journal of Environmental Quality*, 39(4), 1218-1223. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0204>
- Chávez G., E., & Siebe, C. (2019). Rehabilitation of a highly saline-sodic soil using a rubble barrier and organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 189, 176-188. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.003>
- Chávez G., E., Aguillón M., J., Sánchez G., A., & Siebe, C. (2020). Characterization of untreated and composted biochar derived from orange and pineapple peels. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), 413-427. <https://doi.org/10.20937/rica.53591>
- De Boodt, M., Verdonck, O., & Cappaert, I. (1974). Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37, 2054-2063. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1974.37.20>
- Fascell, G. (2015). Growing substrates alternative to peat for ornamental plants. In Md. Asaduzzaman (Ed.). *Soilless culture - use of substrates for the production of quality horticultural crops* (3273). London, UK: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/59596>
- Fain, G. B., Gilliam, C. H., Sibley, J. F., Boyer, R., & Witcher, A. L. (2008). Whole tree substrate and fertilizer rate in production of greenhouse-grown Petunia (*Petunia xhybrida* Vilm.) and Marigold (*Tagetes patula* L.). *HortScience*, 43(3), 700-705. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.3.700>
- Foster, N. W., Beauchamp, E. G., & Corke, C. T. (1985). Immobilization of nitrogen-15-labelled urea in a Jack pine forest floor. *Soil Science Society of America Journal*, 49(2), 448-452. <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900020035x>
- Kadota, M., & Niimi, Y. (2004). Effects of charcoal with pyrolygneous acid and barnyard manure on bedding plants. *Scientia Horticulturae*, 101(3), 327-332.
- Krizek, D. T., Carmi, A., Mirecki, R. M., Snyder, F. W., & Bunce, J. A. (1985). Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Journal of Experimental Botany*, 36(1), 25-38. <https://doi.org/10.1093/jxb/36.1.25>
- Landis, T. D. (1985). Mineral nutrition as an index of seedling quality. In M. L. Duryea (Ed.). *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major test* (pp. 29-48). Corvallis, OR, USA: Oregon State University.
- Lehmann, J., Rilling, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2009). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. London, UK: Routledge.
- Liu, X. H., Han, F. P., & Zhang, X. C. (2012). Effect of biochar on soil aggregates in the loess plateau: results from incubation experiments. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14, 975-979.
- Macklon, A. E. S., Mackie-Dawson, L. A., Sim, A., Shand, C. A., & Lilly, A. (1994). Soil P resources, plant growth and rooting characteristics in nutrient poor upland grasslands. *Plant and Soil*, 163(2), 257-266.
- Makoto, K., Choi, D., Hashidoko, Y., & Koike, T. (2011). The growth of *Larix gmelinii* seedlings as affected by charcoal produced at two different temperatures. *Biology and Fertility of Soils*, 47(4), 467-472.

- Mead, D. J., & Pritchett, W. L. (1975). Fertilizer movement in a slash pine ecosystem. II. N distribution after two growing seasons. *Plant and Soil*, 43(2), 467-478.
- Millard, P., & Proe, M. F. (1993). Nitrogen uptake, partitioning and internal cycling in *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. as influenced by nitrogen supply. *New Phytology*, 125(1), 113-119. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03869.x>
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. A. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174(2), 105-112.
- Núñez Balderas, L. V., Aguirre Gómez, A., Hidalgo Moreno, C., Carrillo Ávila, N., & Etchevers Barra, J. D. (2020). Acid residues remediation from mines using biochar, monopotassium phosphate and lime mine residues remediation with biochar, lime and phosphates. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 593-605.
- Quirk, R. G., Van Zwieten, L., Kimber, S., Downie, A., Morris, S., & Rust, J. (2012). Utilization of biochar in sugarcane and sugar-industry management. *Sugar Tech*, 14(4), 321-326.
- Prieto Ruíz, J. Á. (1999). *Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero*. Folleto técnico N° 12. Campo experimental Valle del Guadiana. Durango, Durango, México: SAGARPA.
- Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. J., Pérez D., C. M. Á., Rueda S., A., & Hernández R., J. (2018). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111.
- Steiner, C., & Harttung, T. (2014). Biochar as a growing media additive and peat substitute. *Solid Earth*, 5(2), 995-999.
- Thompson, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation- what you can tell by looking? In M. L. Duryea. (Ed.). *Proceedings: evaluation seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of mayor test* (pp: 59- 71). Corvallis, OR, USA: Oregon State University.
- Toral, M. (1997). *Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento Técnico 1* (1a. ed.). Guadalajara, Jal., México: Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco.
- Warncke, D. (2011). Greenhouse root media. In J. R. Brown (Ed.). *Recommended chemical soil test procedures for the north central region* (pp. 61-64). North Central Regional Research Publication No. 221 (Revised). Columbia, MO, USA: Missouri Agricultural Experiment Station-University of Missouri.
- Yeager, T. H., Gilliam, C. H., Bilderback, T. E., Fare, D. C., Niemiera, A. X., & Tilt, K. M. (2007). *Best management practices: Guide for producing nursery crops*. Atlanta, GA, USA: Southern Nursery Assoc.
- Uras, Ü., Carrier, M., Hardie, A. G., & Knoetze, J. H. (2012). Physico-chemical characterization of biochars from vacuum pyrolysis of South African agricultural wastes for application as soil amendments. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 98, 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.08.007>