

Efectos del biocarbón en el desarrollo de plántulas del árbol Mandagual (*Caesalpinia velutina*)

Biochar effects on seedling development of the mandagual tree (*Caesalpinia velutina*)

 **Yelsis Bayardo Gutierrez-Galeano***¹

bayardogaleano48@gmail.com

 **María Alicia González-Casco¹**

aliciagonzalez2303@yahoo.com

 **Oscar Enrique Bustamante-Morales¹**

obustamante123.ob@gmail.com

Fecha de Recepción: 20-10-2025

Fecha de Aprobación: 04-12-2025

RESUMEN

Utilizar sustratos adecuados en vivero constituye una estrategia clave para el éxito de las plantaciones forestales, ya que permite producir plantas de alta calidad para trasplante. El objetivo del estudio fue evaluar los resultados después aplicar diferentes dosis de biocarbón o biochar en la producción de plántulas de mandagual (*Caesalpinia velutina*). Se establecieron cuatro tratamientos que comprendían diferentes concentraciones de biochar en el sustrato: suelo sin biochar (testigo), 20 %, 30 % y 40 % de biochar, con una población experimental de 320 unidades. Utilizando el programa de Microsoft Excel e Info Stat, se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos, y pruebas de Tukey ($p \leq 0.05$), también pruebas de normalidad Shapiro-Wilk. Las dosis de 20 % produjeron los mejores efectos en la altura de planta (11.11 %), en diámetro del tallo (12 %), número de hojas (16.06 %) y longitud de raíz (15.3 %). El tratamiento con 30 % de biochar presentó el mayor valor de la relación parte aérea/raíz (10.45 %), mientras que el 20 % obtuvo el mejor índice de Dickson (+55 %), una lignificación superior (+33.82 %) y una reducción del 35.5 % en afectaciones por plagas. En conclusión, la dosis de 20 % de biochar resultó ser la más eficiente, ya que mejora la calidad de las plántulas y reduce costos al requerir menor cantidad de producto. Estos resultados evidencian que la adición de biochar tiene un alto potencial para optimizar la producción de plántulas de mandagual en vivero.

Palabras claves: crecimiento de las plantas, planta, producción agrícola, suelo

ABSTRACT

Utilizing appropriate substrates in nurseries is a key strategy for the success of forest plantations, as it allows for obtaining high-quality plants for transplanting. The objective of this study was to evaluate the effect of different doses of biochar on the production of mandagual (*Caesalpinia velutina*)

* Universidad Nacional Francisco Luis Espinoza Pineda, UNFLEP. Estelí, Nicaragua

*Autor de correspondencia



velutina) seedlings. Four treatments were developed, comprising different concentrations of biochar in the substrate: soil without biochar (control), 20%, 30%, and 40% biochar, with an experimental population of 320 seedlings. Using Microsoft Excel and InfoStat, an analysis of variance (ANOVA) was applied to determine significant differences between treatments, along with Tukey's test ($p \leq 0.05$) and Shapiro-Wilk normality tests. The 20% biochar dose produced the best effects on plant height (11.11%), stem diameter (12%), number of leaves (16.06%), and root length (15.3%). The 30% biochar treatment showed the highest shoot-to-root ratio (10.45), while the 20% treatment yielded the best Dickson index (+55%), superior lignification (+33.82%), and a 35.5% reduction in pest infestations. In conclusion, the 20% biochar dose proved to be the most efficient, as it improves seedling quality and reduces costs by requiring less product. These results show that the addition of biochar has a high potential to optimize the production of mandagual seedlings in the nursery.

Keywords: plant, plant growth, agricultural production, soil

BILA PRAHNI RA

Dus sirpi pain pawanbia dukiara kau diara Yamni daukaia ba pain wahbi saki mankaia sa.baku baman dus nani pain pawisa laki brisi makuma Taim, naha tadi munankara laki kaikisa nahki masku mankuma Taim mandagual dusa ra, naha nahki pawiba dukiara masku porcent sat sat manki laki kaikan kum ra makras ba wina 20%, 30%, y 40% 320 dus ra. Microsoft excell an info stat wal Laki praki kaikan (ANDEVA) porcencet sat sat mankan naniba nahki takam sapa bara laki kaiki prop muni kaiki ai tila kat Tukey ($p \leq 0.05$), ba wina prop muni natka wala Shapiro-Wilk. Naha laki kaikan kara 20 % kau pain pawan dusa yarka ba (11.11 %), maisa yahpikara (12 %), wahya numbikara (16.06 %) wakia yarkara (15.3 %). Masku wal 30 % de biochar kau pain pawan wahiaia an wakia (10.45 %), kuna 20 % kau pain takan Dickson (+55 %), dusa purara karna baku kaikikan (+33.82 %) ap kahwankan 5.5 % yula pin wal . bara wiaia sipsa masku mankam ba 20 % kau pain pawan.

Turi wihta: Dus, dus pawan, plum manki saki, tasba

Para citar en APA: Gutiérrez-Galeano, Y. B., González-Casco, M. A., & Bustamante-Morales, O. E. (2025). Efectos del biocarbón en el desarrollo de plántulas del árbol Mandagual (*Caesalpinia velutina*). *Wani*, (83), e21707. <https://doi.org/10.5377/wani.v1i83.21707>

INTRODUCCIÓN

El uso de sustratos adecuados en vivero para el establecimiento de plantas forestales constituye una estrategia fundamental para el éxito de las plantaciones, ya que de esta etapa depende la obtención de plántulas de calidad al momento del trasplante al campo. En este contexto, la búsqueda de nuevas estrategias que mejoren el desempeño de las especies forestales es esencial, especialmente considerando que a menudo el establecimiento de plantaciones no recibe la misma atención tecnológica que otros cultivos agrícolas. Por ello, resulta necesario innovar en métodos y materiales que optimicen su desarrollo y productividad.

En este sentido, la investigación se centró en evaluar el efecto de dosis crecientes de biochar en la producción de plántulas de mandagual (*Caesalpinia velutina*). El biochar es un material carbonoso



obtenido a partir del pirólisis de biomasa vegetal bajo condiciones limitadas de oxígeno, que ha demostrado mejorar las propiedades físico-químicas del suelo, aumentar la retención de agua y nutrientes, y favorecer la actividad microbiana.

De acuerdo con Warner (2021), el biochar representa un elemento innovador en la gestión del carbono, utilizado para mejorar la salud de los bosques y la calidad del suelo. Sin embargo, González et al. (2020) señalan que su uso en países centroamericanos ha sido limitado, principalmente en cultivos hortícolas, y que son escasos los estudios sobre su uso en especies forestales. Por tanto, esta investigación aporta información valiosa sobre su uso en *Caesalpinia velutina*, una especie nativa de Nicaragua con alta importancia ecológica y de reforestación.

El estudio analiza los efectos del biochar sobre variables de crecimiento, calidad morfológica, resistencia a plagas y beneficios económicos, para generar información técnica que sirva de base para su recomendación en viveros forestales como estrategia para la promoción del uso de tecnologías sostenibles y económicamente viables para los productores.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Ubicación del estudio:

La investigación se desarrolló en el municipio de Wiwilí, departamento de Nueva Segovia, Nicaragua con coordenadas 13°37'16"N 85°50'07"W. El clima se caracteriza de tal manera que la temporada de lluvia es opresiva y nublada; la temporada seca es húmeda y mayormente despejada y es muy caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 33 °C y rara vez baja a menos de 17 °C o sube a más de 35 °C. De igual manera la zona se caracteriza por una variación extremada de lluvia mensual por estación, con una duración de 7.9 meses, con un intervalo de lluvia de 31 días con un mínimo de 13 milímetros, siendo septiembre el mes con más lluvia, con un promedio de 119 milímetros (Weatherspark, 2024).

Diseños Experimentales

Empleando un enfoque cuantitativo y en condiciones controladas de vivero, la población experimental estuvo conformada por 320 plántulas distribuidas en cuatro tratamientos, cada uno con 20 bolsas, repetidos cuatro veces.

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), ampliamente recomendado para experimentos de este tipo. Los tratamientos se diferenciaron por la proporción de biochar incorporada al sustrato, como se describe a continuación (Tabla 1).

Tabla 1

Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción
1	Todos los pilones serán llenados con 20 % de Biochar + 80 % de tierra
2	Todos los pilones serán llenados con 30 % de Biochar + 70 % de tierra
3	Todos los pilones serán llenados con 40 % de Biochar + 60 % de tierra
4	Todos los pilones serán llenados 100 % de tierra





Especie seleccionada

Se seleccionó el *Mandagual* por ser una especie nativa, por la disponibilidad de semilla, y por ser la especie más utilizada por los productores dentro de los planes de reforestación en sus fincas, asimismo, por su sobrevivencia una vez establecidas en el terreno definitivo.

El biochar utilizado es fabricado y procesado en el centro de acopio de Bosques Nicanada S.A (BOSNICA S.A) ubicado en la ciudad de Somoto departamento de Madriz. Se produce por pirólisis o deshidratación de la madera, calentando la temperatura con muy poco oxígeno.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas en el estudio están relacionadas al crecimiento y desarrollo de las plantas. Estas se detallan a continuación:

Altura de la plántula: Se midió usando una cinta métrica, midiendo la plántula desde la base del tallo hasta la parte superior del hipocótilo.

Diámetro del tallo: Se midió con un instrumento llamado vernier o pie de rey, en la parte media del tallo de la plántula.

Número de hojas: Se contabilizó el número total de hojas presentes en cada plántula (solo hojas verdaderas).

Longitud de la raíz principal: Se midió desde el cuello de la raíz hasta el extremo terminal o punto de crecimiento.

Variables de calidad de las plántulas:

Relación Parte Aérea y Radicular (RAR): Esta se realizó calculando el balance entre la parte aérea y la parte radical; se calcula habitualmente como el cociente entre el peso seco aéreo (g) y el peso seco radical (g). (Narváez Espinoza & Santos Maradiaga, 2014)

Índice DIKCSÓN: Se utilizó el Índice de calidad de Dickson ICD (Dickson et al., 1960) citado por González et al. (2020). Este índice integra la relación entre la masa seca total de la planta, la suma de la esbeltez y la relación parte seca aérea/parte seca radicular. García (2007) recomienda para latifoliadas un valor de ICD de 0,2 como mínimo, para contenedores de hasta 60 ml, basado en resultados de plantaciones.

Índice de significación: Se calculó a partir de la relación del peso fresco y peso seco del material vegetal. El peso fresco se obtuvo a partir del corte de las plántulas en estado verde, pesando por separado tanto la parte aérea y la parte radical. Para calcular el peso seco, se colocaron las plántulas en un horno industrial durante 72 horas a una temperatura entre 60 a 70 grados centígrados. Una vez transcurrido el tiempo, se repitió el mismo procedimiento de pesaje para ambas partes de la planta.

Para medir el pH, conductividad eléctrica, humedad, temperatura, nitrógeno, fósforo, potasio y fertilidad total de la solución del sustrato, se utilizó el dispositivo Soil Tester tipo USB (Torres et al., 2010).





Incidencia de plagas: Se realizó una observación para determinar cuántas unidades de muestreo fueron afectadas, sin importar el grado de daño; es decir, qué tratamientos presentaron mayor o menor proporción de plantas afectadas.

Severidad de plagas: Para determinar el análisis de severidad, se aplicó una escala de severidad de evaluación visual (0–5). Según Bhat et al. (2013), es la más recomendada.

Análisis económico: Se realizó para determinar la rentabilidad de las dosis utilizadas, según el porcentaje de biochar empleado.

Técnicas e instrumentos para la recolección de los datos

La técnicas o instrumentos que se utilizaron en la investigación para la recolección de los datos cuantitativos partieron desde la observación registrando sistemáticamente cómo ocurren en su entorno. Para ello, se empleó una guía elaborada para la toma de datos en campo, y de esta manera, recolectar toda la información que se podía analizar. como altura, numero de hojas y diámetro de tallo. Para las variables cualitativas, se empleó la misma técnica para llevar el registro de la información que se iba levantando en campo, como lo es la incidencia de plagas y otros componentes de las plantas, así como elementos que se necesitan en campo. Por lo antes expuesto, estos datos fueron recolectados semanalmente.

Procedimientos para el análisis de datos

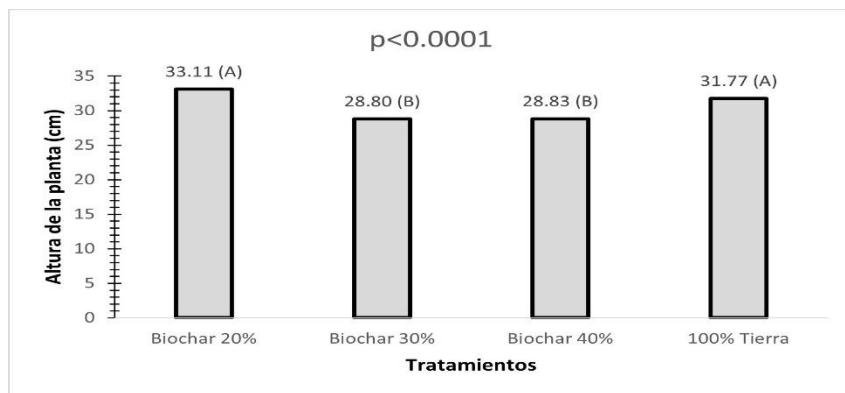
El procesamiento de los datos se efectuó en Microsoft Excel versión Profesional Plus 2021. Además, utilizando el programa de Info Stat versión 2020, se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Asimismo, se realizaron comparaciones de medias a través de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La normalidad de los datos fue verificada con la prueba de Shapiro-Wilk.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Variable de efectividad de diferentes dosis de biochar

Altura de la planta

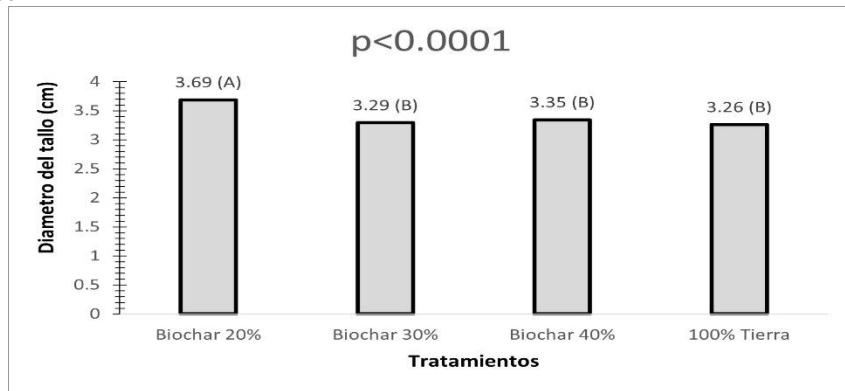
Los datos evidencian que la aplicación del tratamiento 1 (20 % de biochar), logró la mayor altura media de plántulas (33. 11 cm), marcando una diferencia estadística significativa con el tratamiento 4 de 100 % suelo (31.77 cm) y con las dosis más elevadas de biochar (30 % y 40 %) (Figura 1). Estos resultados indican que con el tratamiento 1, en comparación con los demás tratamientos, el crecimiento fue inferior, lo que sugiere que el biochar en concentraciones al 20% produce un efecto positivo en el crecimiento de la planta.

Figura 1*Altura de la planta**Nota.* Letras distintas (A-B) denotan diferencia significativa entre los tratamientos.

Por otra parte, la aplicación excesiva, como la empleada en este estudio con el 40 % de biochar, puede inducir la adsorción y desorción de nutrientes en el suelo de manera simultánea, lo que afecta las actividades microbianas y el crecimiento de los cultivos, como lo indican Kumar et al., (2024). Este comportamiento, al igual que nuestro estudio, concuerda con lo documentado en plántulas de *Swietenia humilis* y *Cedrela odorata*, en los cuales se encontró diferencias significativas en altura, donde la dosis más baja presentó mejor respuesta (González et al., 2020).

Diámetro del tallo

El mayor diámetro se obtuvo con la aplicación del 20 % de biochar (3.69 mm), superando significativamente a los demás tratamientos (Figura 2).

Figura 2*Diámetro del tallo**Nota.* Letras distintas (A-B) denotan diferencia significativa entre los tratamientos.

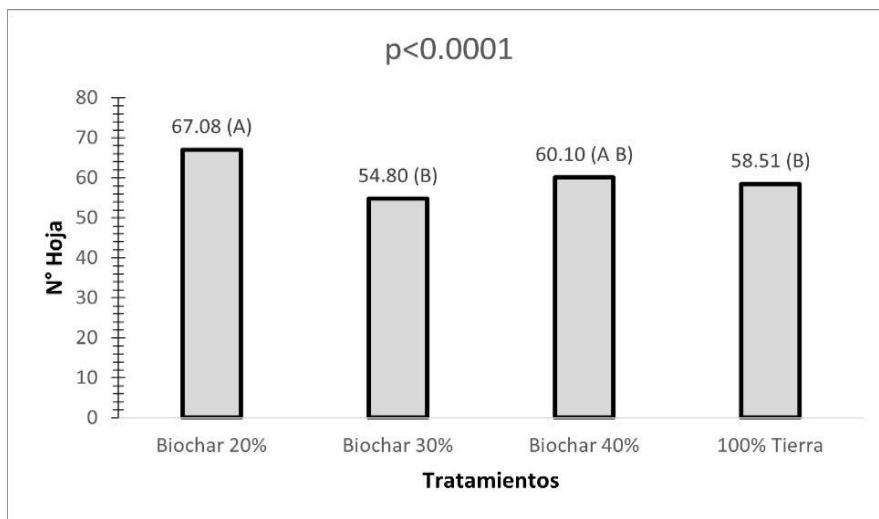
Este resultado coincide con lo planteado por Marjenah et al. (2016), donde reportó resultados similares, señalando que una combinación de 80 % de suelo y 20 % de biochar mejoró significativamente el diámetro y altura de plántulas en comparación con el testigo. Esto evidencia que la tasa óptima de aplicación depende del tipo de suelo y de la especie cultivada, aunque las dosis moderadas tienden a ser más efectivas.

Número de hojas

El tratamiento con 20 % de biochar (T1) registró el mayor número de hojas (67.08), seguido por los tratamientos con 30 % y 40 %, que mostraron rendimientos inferiores. (Figura 3)

Figura 3

Numero de hojas



Nota. Letras distintas (A-B) denotan diferencia significativa entre los tratamientos.

Plantas con mayor cantidad de hojas representan un aumento en la superficie para la fotosíntesis y, por lo tanto, una mejor capacidad para acumular biomasa. Rodríguez Solís et al., (2021) afirman que el número de hojas fue significativamente mayor, presentando un valor de 6.8 hojas en promedio usando la dosis de 25 ton/ha, en los primeros 35 días de evaluación, seguida de las tasas de aplicación de 50 y 75 ton/ha, respectivamente; esto quiere decir que la dosis más baja en este estudio presentó los mejores resultados en respuesta a la aplicación de biochar, asemejándolo con este estudio.

Longitud de raíz

La longitud radicular más grande se obtuvo con la proporción de 20 % de biochar (Tabla 1), mientras que el testigo presentó el valor en promedio más bajo (27.6 cm).

Tabla 1

Promedio de longitud de raíz en plantas de mandagual manejadas en vivero

Tratamiento	Longitud raíz
1	36.2
2	33.4
3	33.2
4	27.6



Estos resultados concuerdan con Wang et al., (2018), quienes demostraron que, dosis superiores al 30 %, inhiben el crecimiento radicular. Mudd (2025) también observó que tratamientos con 25 % de biochar mejoraron significativamente la biomasa de raíces y brotes en comparación con el control, destacando el efecto positivo de dosis intermedias.

Variables de calidad de plántulas

Los resultados de los índices de calidad se presentan en la Tabla 2, incluyendo la relación parte aérea/raíz (RAR), el índice de Dickson (ICD) y el índice de lignificación (IL).

Tabla 2

Variables de calidad

Tratamiento	Promedio de RAR (Aérea/Radical)	Índice DIKSON	Índice Lignificación (IL %)
T1	7.84	0.36	23.71
T2	2.57	0.48	32.83
T3	10.45	0.35	26.04
T4	3.70	0.24	23.85

Relación Parte Aérea y Radicular (RAR):

La relación entre la parte aérea y la raíz mostró variaciones dependientes de la dosis de biochar. El tratamiento con 30 % (T3) alcanzó el valor más alto en promedio (10.45 seguido del 20 % (7.84).

El biochar actúa como un hábitat microbiano que facilita la mineralización y disponibilidad de nutrientes esenciales (Smallop, 2023). Razaq et al., (2017), observó un incremento significativo en el crecimiento radicular al combinar biochar con fertilizantes nitrogenados. Asimismo, Noguera et al., (2010) demostraron que la interacción del biochar con lombrices de tierra incrementa el crecimiento vegetal de manera sinérgica.

Índice de Dickson:

El valor más alto del ICD se obtuvo con el tratamiento T2 (30 %) (0.48).

Según Gallegos-Cedillo (2021), un alto valor del índice de Dickson es característico de plantas robustas y equilibradas, con mejor desempeño en campo. Silva Gonzaga et al. (2017), observaron que dosis entre 20 y 40 t ha⁻¹ incrementaron el índice de Dickson de plántulas de *Eucalyptus grandis*. En cambio, dosis más elevadas redujeron el índice, lo que confirma la efectividad de concentraciones moderadas. Esto concuerda con este estudio, al utilizar dosis más bajas al 20 %; la respuesta es mejor en comparación con dosis más elevadas al 40 %.

Índice de lignificación

El tratamiento T2 registró el valor más alto de lignificación (32.83 %), seguido por el T3 y el T1.

Ma et al., (2020) encontraron que al aplicar 10 % de biochar en plántulas de pepino, el crecimiento radicular y la lignificación mejoraron, mientras que concentraciones mayores a 40 % inhibieron su desarrollo. De igual forma, Ngo Ndoung et al., (2021) reporta que los fertilizantes a base de biochar pueden aumentar la absorción de nutrientes y el crecimiento estructural de las plantas. Lo que



valida el resultado de este estudio, ya que según Boerjan et al. (2003), la lignificación es esencial para la integridad estructural de las paredes celulares de las plantas y es crucial para el desarrollo de las plantas.

Variable de incidencia y severidad de plagas

El tratamiento sin biochar (T4) presentó el mayor número de plántulas afectadas por plagas (seis individuos) afectadas por ataques por el gusano defoliador (Orden *Lepidoptero*, familia *Tortricidae*) a los 5 días después de germinadas, esto, en el caso con mayor presencia, mientras que el tratamiento con 20 % (T1) registró únicamente dos afectaciones. Según MARENA/INAFOR (2002), citado por Calixtro Gladin y Suarez Dávila (2022), son pocos los problemas de plagas y enfermedades detectados en plantación. Sólo se ha reportado el gusano defoliador (Orden *Lepidoptero*, Familia *Tortricidae*). De igual manera, menciona SIRE (2006), que este gusano afecta las hojas tanto en viveros como en la plantación. Esto evidencia que el biochar contribuye a mejorar la sanidad de las plántulas, posiblemente por su efecto indirecto sobre la microbiota del sustrato y la disponibilidad de nutrientes.

Bhatt, et al. (2024) sostienen que el biochar mejora la salud del suelo y, en consecuencia, la resistencia de las plantas frente a patógenos. De igual forma, Edenborn et al., (2017) y Iacomino et al. (2022) destacan su papel en la reducción del daño por insectos y enfermedades en diferentes especies.

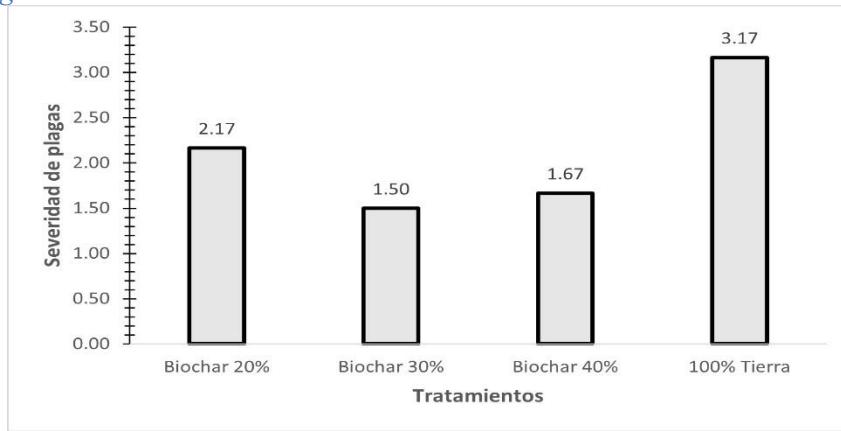
Los resultados que se presentan en este estudio muestran que aplicar biochar como sustrato en vivero, ayudó en gran medida a disminuir las afectaciones por plagas en las plántulas de *Caesalpinia velutina* (Figura 4). Por otra parte, los tratamientos con 20 %, 30 % y 40 % mostraron niveles menores de afectación en comparación con el testigo, siendo el 30 % (T2) el más eficaz (1.50), mientras que el testigo alcanzó el valor más alto (3.17). Lo anterior se pudo apreciar en los ataques por chicharrita verde (*Cicadella viridis*). A pesar que todas las plantas resultaron afectadas, los resultados difieren en que, en las plantas sin biochar, el daño fue tanto en las hojas nuevas y viejas, en comparación a los tratamientos que tenían biochar, en los que los ataques solo fueron en las hojas viejas. Esto indica que el impacto fue más en las plantas sin biochar, ya que está afectando directamente el crecimiento futuro y la capacidad fotosintética de la planta.

Jin et al. (2023), demostró que dosis intermedias de biochar reducen la severidad del marchitamiento por *Fusarium* en tomate. Similarmente, Yu et al. (2024), evidenciaron que el biochar puede sustituir parcialmente la turba y reducir la incidencia de enfermedades en pimiento (*Capsicum annuum*). El uso de biochar en niveles apropiados mejora la calidad y sanidad de las plántulas, representando una alternativa sostenible para la producción en vivero.



Figura 4

Severidad de plagas



Análisis de Costo

Usar un 20 % de biochar como sustrato para vivero es la alternativa más económicamente viable, pues ofrece la mejor relación costo-beneficio más favorable. Además, agregar más biochar (30-40 %) no tiene mayor impacto, porque no estimula mucho el crecimiento de las plantas, a pesar de tener un costo más elevado. Por lo anterior expuesto, lo mejor es usar el Tratamiento 1, ya que se invierte menos en materiales y se obtienen mejores resultados con las plantas, tal y como lo detalla un estudio realizado por Ngo Ndoung et al. (2021) sobre el uso del biochar, afirmando que, en consecuencia, cuando se aplica en dosis altas, la inversión puede no ser rentable para el agricultor.

CONCLUSIONES

La adición de biochar como componente del sustrato en vivero mejora significativamente el crecimiento y desarrollo de las plántulas de *Caesalpinia velutina*. Las dosis moderadas, particularmente de 20 %, permiten obtener plántulas con mejor calidad fisiológica y morfológica, lo cual incrementa su potencial de supervivencia y adaptación al trasplante en campo.

Adicionalmente, el biochar reduce la incidencia y severidad de plagas, contribuyendo a un equilibrio biológico favorable en el sustrato y a una mayor resistencia de las plántulas frente a agentes bióticos.

En términos económicos, el uso de dosis bajas de biochar equivalentes a (10 % y 20 %) representan una opción rentable, al disminuir los costos de producción sin comprometer la calidad del material vegetal. Por tanto, el biochar presenta una alternativa sostenible y de alta eficiencia para la producción de plántulas forestales, en la promoción de prácticas ecológicas, y en la producción de plantas forestales a nivel de vivero.

El tratamiento 1 (20 % biochar + 80 % tierra) requiere una cantidad minúscula de biochar, por lo que el costo por cada plántula no es tan elevado. El tratamiento 2 (30 % biochar + 70 % tierra), en contraste, utiliza 50 % más biochar que la T1, elevando los costos, esto sin demostrar mejoras para las plántulas. El T3 (40 % biochar + 60 % tierra), usa el doble de biochar que el T1, lo que quiere decir que el gasto de producción se eleva enormemente. El T4 (100 % tierra) no genera gastos para

la compra de biochar; sin embargo, los resultados de las plántulas no fueron tan satisfactorios como los obtenidos con el T1.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Bhat, H. A., Ahmad, K., Ahanger, R. A., Qazi, N. A., Dar, N. A., y Ganie, S.A (2013). Status and symptomatology of Alternaria leaf blight (*Alternaria alternata*) of gerbera (*Gerbera jamisonii*) in Kashmir valley. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (9), 819-823. https://www.researchgate.net/publication/323640956_Status_and_symptomatology_of_Alternaria_leaf_blight_Alternaria_alternata_of_Gerbera_Gerbera_jamisonii_in_Kashmir_valley
- Bhatt, B., Gupta, S. K., Mukherjee, S., y Kumar, R. (2024). A comprehensive review on biochar against plant pathogens: Current state-of-the-art and future research perspectives. *Heliyon*, 10(17), 2-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37204>
- Boerjan, W., Ralph, J., y Baucher, M. (2003). Lignin biosynthesis. *Annual review of plant biology*, 54, 519–546. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.031902.134938>
- Calixtro Gladin, B., y Suarez Dávila, a. E. (2022). *Evaluación inicial de la plantación de Brasil blanco (Caesalpinia velutina Britton & Rose Standl), bajo dos distanciamientos, en la Unidad de Experimentación y Validación El Plantel, Masaya, 2022*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4602>
- Edenborn, S., Johnson, L., Edenborn, H., Albarran-Jack, M., y Demetrian, L. (2017). Amendment of a hardwood biochar with compost tea: effects on plant growth, insect damage and the functional diversity of soil microbial communities. *Biological Agriculture & Horticulture*, 34(2), 88–106. <https://doi.org/10.1080/01448765.2017.1388847>
- Gallegos-Cedillo, V. D. (2021). Las características agronómicas de las plantas pueden predecir la calidad y el rendimiento en campo: un análisis bibliométrico. *Agronomy*, 11(11), 2-32. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112305>
- Garcia, M. D. A. (2007, 25-26 de octubre). Importancia de la calidad del plantín forestal. [documento de conferencia]. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/21460>
- González, J., López, R., y Gutiérrez, T. (2020). *Efectos del biochar sobre el crecimiento y sobrevivencia de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/13060>
- Ma, G., Mao, H., Bu, Q., Han, L., y Shabbir, A. (2020). Effect of Compound Biochar Substrate on the Root Growth of Cucumber Plug Seedlings. *Agronomía*, 10 (8), 2-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081080>
- Iacomino, G., Idbella, M., Laudonia, S., y Vinale, F. (2022). The Suppressive Effects of Biochar on Above- and Belowground Plant Pathogens and Pests: A Review. *Plants*, 11(22). 2-17. <https://doi.org/10.3390/plants11223144>



- Jin, X., Zhou, X., Wu, F., y Xiang, W. (2023). Biochar Amendment Suppressed Fusarium Wilt and Altered the Rhizosphere Microbial Composition of Tomatoes. *Agronomía*, 13(7), 2-12. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071811>
- Kumar, R., Lamba, J., Adhikari, S., Torbert, A., y Sawadgo, W. (2024, marzo). *Application of Biochar in Agricultural Systems*. Alabama Cooperative Extension System. <https://www.aces.edu/blog/topics/crop-production/application-of-biochar-in-agricultural-systems/>
- Marjenah, Kiswanto, Purwanti, S., y Sofyan, F. (2016). The effect of biochar, cocopeat and saw dust compost on the growth of two dipterocarps seedlings. *Nusantara Bioscience*, 8(1), 39-44. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080108>
- Mudd, M. (2025). *Influence of biochar on rooting and establishment of seedlings* [Tesis de maestría, Western Kentucky University]. <https://digitalcommons.wku.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4813&context=theses>
- Narváez Espinoza, E., y Santos Maradiaga, M. I. (2014). *Influencia de dos tipos de sustratos y tres tipos de desinfección en el crecimiento y calidad de plantas de Pinus oocarpa (Schiede) producidas en un vivero de San Fernando, Nueva Segovia, Nicaragua* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2738>
- Ngo Ndoung, O. C., de Figueiredo, C. C., y Gerosa Ramos, M. L. (2021). A scoping review on biochar-based fertilizers: enrichment techniques and agro-environmental application. *Helyion*, 7(12), 2-17. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08473>
- Noguera, D., Rondón, M., Kam-Rigne, L., Hoyos, V., Patrick, L., Cruz de Carvalho, M. H., y Barot, S. (2010). Contrasted effect of biochar and earthworms on rice growth and resource allocation in different soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(7), 1017–1027. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.03.001>
- Razaq, M., Salahuddin, Shen, H.-L., Sher, H., y Zhang, P. (2017). Influence of biochar and nitrogen on fine root morphology, physiology, and chemistry of Acer mono. *Scientific Reports*, 7, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05721-2>
- Rodríguez Solís, A., Badilla Valverde, Y., y Moya, R. (2021). Agronomic Effects of *Tectona grandis* Biochar from Wood Residues on the Growth of Young *Cedrela odorata* Plants in a Nursery. *Agronomy*, 11(10), 2-11. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102079>
- Silva Gonzaga, M. I., Mackowiak, C., Quintão de Almeida, A., y Tinel de Carvalho Júnior, J. I. (2017). Biocarvão de lodo de esgoto e seu efeito no crescimento e nas características morfológicas de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden). *Ciencia Florestal*, 27(2), 687-695. <https://doi.org/10.5902/1980509832067>
- Smallops. (2023, octubre). *Biochar Enriquecido con microorganismos*. Smallops. <https://smallops.eu/biochar-enriquecido-con-microorganismos/>
- SIRE (2006). *Caesalpinea velutina (Britton et Rose) Stanley*. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/895Caesalpinea%20velutina.pdf>
- Torres, A. P., Camberato, D., Lopez, R. G., y Mickelbart, M. (2010). Medición de pH y conductividad eléctrica en sustratos. *Purdue University*, 1-6. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ho/ho-237-sw.pdf>





Wang, C., Alidoust, D., y Yang, X. Y. (2018). Effects of bamboo biochar on soybean root nodulation in multi-elements contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.036>

Warner, E. (2021, enero 11). *Biochar: The carbon gamechanger*. Taking Root. <https://takingroot.com/biochar-carbon-gamechanger/>

Weatherspark. (2024, julio 20). *Clima promedio en Wiwilí, Nicaragua — durante todo el año*. Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/y/14949/Clima-promedio-en-Wiwil%C3%AD-Nicaragua-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Yu, P., Qin, K., Crosby, K., Ong, K., y Gentry, T. Y. (2024). Biochar reduces containerized pepper blight caused by *Phytophthora capsici*. *Scientific Reports*, 14, 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76712-3>