

Influencia del biocarbón de estiércol equino en suelo y rendimiento de *Sesamum indicum* L

Influence of equine manure biochar on soil and yield of *Sesamum indicum* L

Santa Laura Leyva Rodríguez¹ (lauraguayana25@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-2890-6616>)

Yamilé Batista Yero² (ybatista.yero@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-1991-8941>)

Raquel Ruz Reyes³ (raqcu2007@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0001-9382-1622>)

Resumen

El presente artículo tuvo como objetivo el objetivo evaluar los efectos del biocarbón producido a partir de estiércol equino, complementado con 10 t ha⁻¹ de estiércol semicompostado, sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). La investigación se desarrolló en un suelo Fersialítico Pardo Rojizo agrogénico de la zona norte de Las Tunas, Cuba, entre julio y noviembre de 2023. Se empleó un diseño de bloques al azar con tres réplicas y dos dosis de biocarbón (40 y 80 t ha⁻¹). Se determinaron la densidad aparente y la porosidad total y de aireación, así como variables morfofisiológicas, componentes del rendimiento y el rendimiento final del cultivo. Los resultados indicaron que la aplicación combinada de biocarbón y estiércol redujo la densidad aparente e incrementó significativamente la porosidad. Asimismo, el uso de estas enmiendas orgánicas favoreció la altura de las plantas, el número de cápsulas y el peso de 1000 semillas. El rendimiento del ajonjolí alcanzó valores de 1.98 y 1.40 t ha⁻¹ con las dosis de 80 y 40 t ha⁻¹, respectivamente. Se concluye que el uso de biocarbón y estiércol equino mejora integralmente las propiedades físicas del suelo y la productividad del cultivo, consolidándose como una estrategia sostenible para la restauración de suelos degradados.

Palabras clave: enmiendas orgánicas, propiedades físicas, sostenibilidad, ciencias agrícolas, suelos.

Abstract

The present article aimed to evaluate the effects of biochar produced from horse manure, complemented with 10 t ha⁻¹ of semi-composted manure, on soil physical properties and the yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) crops. The research was conducted on an Agro-genic Reddish Brown Fersialitic soil in the northern area of Las Tunas, Cuba, between July and November 2023. A randomized block design with three replicates and two doses of biochar (40 and 80 t ha⁻¹) was used. Bulk density and total and aeration porosity, as well as morphophysiological variables, yield components, and

¹ Doctora en Ciencias Agrícolas. Profesora Titular. Universidad de Las Tunas, Cuba.

² Doctora en Ciencias Pedagógicas. Profesora Titular. Universidad de Las Tunas, Cuba.

³ Doctora en Ciencias Agrícolas. Profesora Titular. Universidad de Las Tunas, Cuba.

the final crop yield, were determined. The results indicated that the combined application of biochar and manure reduced bulk density and significantly increased porosity. Likewise, the use of these organic amendments favored plant height, the number of capsules, and the weight of 1000 seeds. Sesame yield reached values of 1.98 and 1.40 t ha⁻¹ with doses of 80 and 40 t ha⁻¹, respectively. It is concluded that the use of biochar and equine manure comprehensively improves the physical properties of the soil and crop productivity, establishing itself as a sustainable strategy for the restoration of degraded soils.

Key words: organic amendments, physical properties, sustainability, agricultural sciences, soils.

Introducción

El ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) es una oleaginosa que tiene importancia tanto económica como industrial. Las semillas contienen cantidades significativas de fenólicos, flavonoides, nutrientes y minerales además una importante actividad antioxidante. Esto sugiere que la ingesta dietética de semillas de sésamo podría ser potencialmente protectora contra diversas enfermedades, entre ellas se le reconocen propiedades anticancerígenas (Dravie *et al.*, 2020).

Su producción en Cuba ha adquirido importancia, con la finalidad de sustituir importaciones y contribuir a alcanzar la soberanía y la seguridad alimentaria. Se desarrolla fundamentalmente en pequeñas áreas y enfrenta limitaciones asociadas al deterioro físico del suelo, donde los potenciales de rendimiento muchas veces no alcanzan los estándares óptimos genéticamente determinados (Rodríguez-Manzano y Abreu-Hernández, 2015).

La actividad humana durante años ha generado una gran presión sobre el suelo, con consecuencias directas sobre los procesos de degradación. En Cuba se manifiesta en un alto porcentaje, consecuencia del laboreo intensivo con tecnologías convencionales, basado en el uso de arados y gradas de discos, lo que afecta negativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rodríguez *et al.*, 2022).

En los últimos años, el biocarbón se ha consolidado como un material ideal para incrementar la reserva de carbono, lo que contribuye a su secuestro a largo plazo y mitiga los impactos del cambio climático. Su principal beneficio radica en su capacidad de adsorción, gracias a sus estructuras altamente porosas y diversos grupos funcionales lo que favorece la retención de agua y nutrientes, así como el aumento de la capacidad de intercambio catiónico, especialmente en suelos cultivados de baja fertilidad (Khan *et al.*, 2024),

Los biocarbones derivados de estiércol presentan un volumen reducido en comparación con el estiércol no pirolizado, lo que incrementa la concentración de nutrientes, especialmente fósforo, y facilita su almacenamiento y transporte. En este sentido, Lidman *et al.* (2023) demostraron una alta retención de P en estos materiales. Además, la conversión del estiércol animal en biocarbón constituye una alternativa de manejo

más eficiente que su aplicación directa al suelo, ya que reduce impactos ambientales, mejora las condiciones edáficas y favorece la adsorción de contaminantes (Ozor *et al.*, 2026).

El Programa de Autoabastecimiento Municipal en la provincia de Las Tunas prevé el incremento progresivo de las áreas destinadas al cultivo del ajonjolí; sin embargo, las alternativas para el mejoramiento de los suelos y la nutrición del cultivo resultan aún insuficientes. En este contexto, el uso de enmiendas orgánicas como el biocarbón adquiere relevancia, especialmente cuando se obtiene a partir de estiércoles, debido a su mayor contenido de nutrientes y capacidad de retención. Dentro de estos, el estiércol equino presenta características favorables relacionadas con su composición orgánica y disponibilidad local, lo que lo convierte en una opción potencial para su transformación en biocarbón. No obstante, son limitados los estudios que evalúan su efecto sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del cultivo de ajonjolí en condiciones edafoclimáticas de Cuba. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del biocarbón producido a partir de estiércol equino, complementado con estiércol semicompostado, sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del cultivo de ajonjolí.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló sobre un suelo Fersialítico Pardo Rojizo agrogénico, situado al norte del municipio Las Tunas en las coordenadas 20°59'42.21"N 76°51'53.97"O, durante el período de julio a noviembre de 2023.

El clima de la región se clasificó como Tropical subhúmedo seco con un coeficiente hidrotérmico inferior a 1,2 durante todo el año. En el periodo de investigación las temperaturas medias oscilaron en 28 °C con precipitaciones entre 130 y 170 mm (Centro Provincial de Meteorología, Las Tunas, 2023).

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas. Cada parcela estuvo conformada por cuatro surcos de 2 m de largo a una distancia entre surcos de 0.60 m y 0.15 m entre plantas. Los tratamientos utilizados en la investigación fueron los siguientes:

Tabla 1.

Descripción de los tratamientos experimentales y dosis de aplicación

Tratamiento	Descripción / Abreviatura	Dosis y Componentes
1	Testigo	Sin aplicación
2	Biocarbón (40 t ha ⁻¹) + EE	Biocarbón de estiércol equino (40 t ha ⁻¹) + estiércol equino (10 t ha ⁻¹)
3	Biocarbón (80 t ha ⁻¹) + EE	Biocarbón de estiércol equino (80 t ha ⁻¹) + estiércol equino (10 t ha ⁻¹)

Nota: EE: estiércol equino semicompostado.

Para identificar el tipo de suelo, se siguió la Clasificación de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015). Se describieron tres calicatas (ubicadas al inicio, centro y final del área experimental) para confirmar las propiedades del perfil. El suelo se clasificó como Fersialítico Pardo Rojizo agrogénico, dentro del agrupamiento Fersialítico desarrollado sobre granodiorita, con una textura arcillo arenoso.

Se distribuyeron de forma aleatoria áreas de muestreo en cada tratamiento/réplica. Para determinar la densidad aparente, se establecieron minicalicatas tomando muestras a diferentes profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm), en la época de lluvias, coincidiendo con la humedad a capacidad de campo. La densidad aparente se determinó mediante el método del anillo; la porosidad total y de aireación se calcularon mediante fórmulas.

El estiércol equino (EE) fue recolectado directamente de las pilas de acopio de los productores locales, donde el material fue mantenido bajo condiciones de descomposición pasiva (sin volteo controlado o monitoreo de temperatura) durante un periodo de 4 meses. Por lo tanto, este material se clasifica como semicompostado ya que no alcanzó la etapa de madurez de un compost formal.

La preparación del suelo se realizó de forma manual a una profundidad de 30 cm. Antes de la siembra, se procedió a realizar la mezcla e incorporación del biocarbón y el estiércol equino semicompostado (según las dosis correspondientes) a la profundidad de 30 cm. A los 10 días, de realizada la incorporación se procedió a la surca y siembra, se utilizaron semillas de la variedad Blanco 5 A, a la profundidad de 2-3 cm.

Se realizaron cuatro riegos en todo el ciclo del cultivo, que coincidieron con las cuatro etapas críticas de desarrollo del cultivo. La cosecha se realizó de forma manual, las plantas fueron cortadas a 15 cm del suelo. La trilla comenzó después de 15 días de cortadas las plantas, cuando las cápsulas estaban secas.

Indicadores evaluados

Se seleccionaron 10 plantas por tratamiento/réplica, seleccionadas al azar en los dos surcos centrales de cada parcela, a las cuales se les midió en la fase de cosecha: altura de la planta, diámetro del tallo basal, número de cápsulas por planta, peso de 1000 semillas por tamaño de las cápsulas, rendimiento total ($t\ ha^{-1}$).

Procesamiento de datos

Previo a la realización del análisis estadístico paramétrico, se verificaron los supuestos de normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad de las varianzas mediante la prueba de Levene. Una vez confirmados estos supuestos, los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) simple. En los casos donde se detectaron diferencias significativas, se procedió a la comparación de medias mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan con un nivel de significancia del 5% ($P \leq 0,05$). Todos los análisis se realizaron con el software SPSS versión 25.0 para Windows.

Resultados y discusión

Influencia de la aplicación del biocarbón y estiércol equino en las propiedades físicas

Densidad aparente del suelo

En los primeros 10 cm la aplicación de B+ EE en ambas dosis disminuyó la densidad aparente (tabla 2), con diferencias significativas con el testigo. En las restantes profundidades el mayor efecto en la modificación de la densidad aparente se obtuvo con la dosis 80 t ha⁻¹ de biocarbón, con diferencias significativas ($p \leq 0,05$) respecto a las dosis 40 t ha⁻¹ y el testigo. No obstante, en ambas dosis de B+EE se logró disminuir la densidad aparente.

Los resultados en la presente investigación sobre el efecto del B+ EE en la modificación de la densidad aparente, han sido comparados con trabajo similares, Toková *et al.* (2020) demostró que el biocarbón aplicado a 20 t ha⁻¹ y su reaplicación a los cuatro años redujo significativamente la densidad aparente y aumentó la porosidad, con un incremento relativo en el contenido de agua en el suelo, al considerar que las modificaciones de la estructura del suelo, por el biocarbón tuvo efectos positivos en los resultados. Zhang *et al.* (2021) en suelos arenosos con la aplicación de biocarbón lograron reducir la densidad aparente de 1,52 g cm⁻³ a 1,33 g cm⁻³, resultados similares a los alcanzados en nuestro trabajo.

Tabla 2.

Efecto del biocarbón y estiércol equino en la densidad aparente del suelo

Tratamientos	Densidad aparente (Mg m ⁻³) por profundidad (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Testigo	1,62 a	1,72 a	1,81 a
Biocarbón (40 t ha ⁻¹) + EE	1,38 b	1,41 b	1,49 b
Biocarbón (80 t ha ⁻¹) + EE	1,36 b	1,38 c	1,45 c
CV (%)	8,9	10,88	10,9
EE±	0,043	0,054	0,057

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Porosidad total (%)

En todas las profundidades, el tratamiento testigo presentó los menores valores de porosidad total, con diferencias significativas ($p \leq 0,05$) respecto a los demás tratamientos (tabla 3). Con la aplicación de ambas dosis de biocarbón enriquecido con EE se alcanzaron valores medios entre 45 y 48 %, observándose los mayores valores con la dosis más alta entre los 10 y 30 cm de profundidad.

La incorporación de biocarbón enriquecido con EE incrementó la porosidad del suelo entre 10 y 12 % en comparación con el testigo, lo que evidencia una mejora de la estructura física del suelo asociada a esta enmienda. Este comportamiento sugiere que el biocarbón favorece la formación y estabilidad de espacios porosos, contribuye a mejores condiciones físicas del suelo, coincidiendo con reportes previos sobre el efecto del biocarbón en la disminución de la densidad aparente y el aumento de la porosidad del suelo (Singh *et al.*, 2022).

Tabla 3.

Influencia de las enmiendas orgánicas en la porosidad total

Tratamientos	Porosidad Total (%) por profundidad (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Testigo	37,5 b	34,96 c	31,44 c
Biocarbón (40 t ha ⁻¹) + EE	46,9 a	46,79 b	43,70 b
Biocarbón (80 t ha ⁻¹) + EE	47,7 a	47,80 a	45,15 a
CV (%)	11,3	14,3	16,3
EE±	1,66	2,06	2.1

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Porosidad de aireación

En todas las profundidades la porosidad de aireación incrementó con la aplicación de B+EE, con diferencias significativas con el testigo (tabla 4). El tratamiento testigo mostró valores inferiores al 10%, en todas las profundidades especialmente de 10-30 cm límite sugerido como el mínimo necesario para mantener el equilibrio del flujo de aire entre el suelo y la atmósfera y satisfacer la demanda de O₂ de las raíces.

Tabla 4.

Influencia de las enmiendas orgánicas en la porosidad de aireación

Tratamientos	Porosidad aireación(%) por profundidad (cm)		
	0-10	10-20	20-30
Testigo	7,54 b	1,53 c	1,24 c
biocarbón (40 t ha ⁻¹) + EE	18,80 a	16,43 b	10,90 b
biocarbón (80 t ha ⁻¹) + EE	19,10 a	18,30 a	13,20 a
CV (%)	11,3	14,3	13,23
EE±	1,66	2,06	2,1

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Según Toková *et al.* (2020), la incorporación de biocarbón en el suelo mejora las propiedades físicas como la estructura, la distribución de poros y la densidad, lo que conduce a una buena aireación. La magnitud del efecto de la aplicación de biocarbón sobre la productividad de los cultivos se correlacionó con las respuestas a las propiedades físicas de los suelos (Singh *et al.*, 2022).

Parámetros morfofisiológicos y de rendimiento del ajonjolí

El comportamiento de las variables altura y diámetro al final de la cosecha (tabla 5) mostró diferencias significativas de los tratamientos con B+EE con el testigo, sin diferir entre las dosis aplicadas, aunque la dosis de 40 t ha⁻¹ no difiere del testigo en el diámetro del tallo.

El cultivo presentó un comportamiento similar a los reportados por Oloniruha *et al.* (2021) en las que alcanzaron las mayores alturas con la aplicación de fertilizante órgano mineral en comparación con la parcela control, independientemente de la dosis aplicada.

Tabla 5.

Altura y diámetro al final de la cosecha

Tratamientos	Altura(m)	Diámetro (cm)
Testigo	1,25 b	1,23
Biocarbón (40 t ha ⁻¹) + EE	1,36 a	1,23 ab
Biocarbón (80 t ha ⁻¹) + EE	1,40 a	1,30 a
CV (%)	8,4	16,3
EE±	0,019	0,02

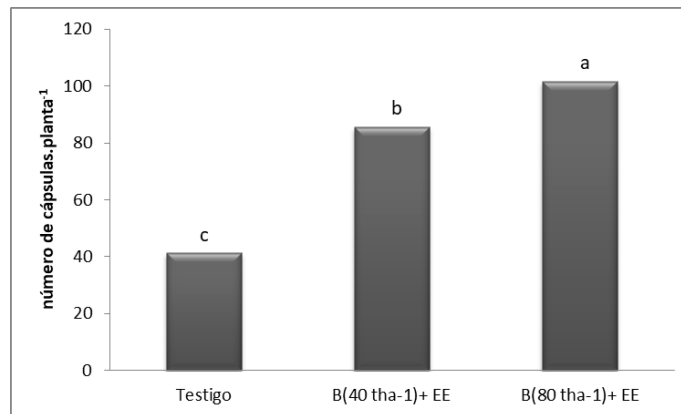
Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Número de cápsulas por plantas

El número de cápsulas por plantas (figura 1) fue superior en el tratamiento con 80 t ha⁻¹ de biocarbón respecto a los demás tratamientos, con diferencias significativas. Los valores en el tratamiento de 80 t ha⁻¹ (101) superan en un 60 % los obtenidos en el tratamiento testigo y en un 15 % los obtenidos con la dosis de 40 t ha⁻¹.

Figura 1.

Número de cápsulas por planta



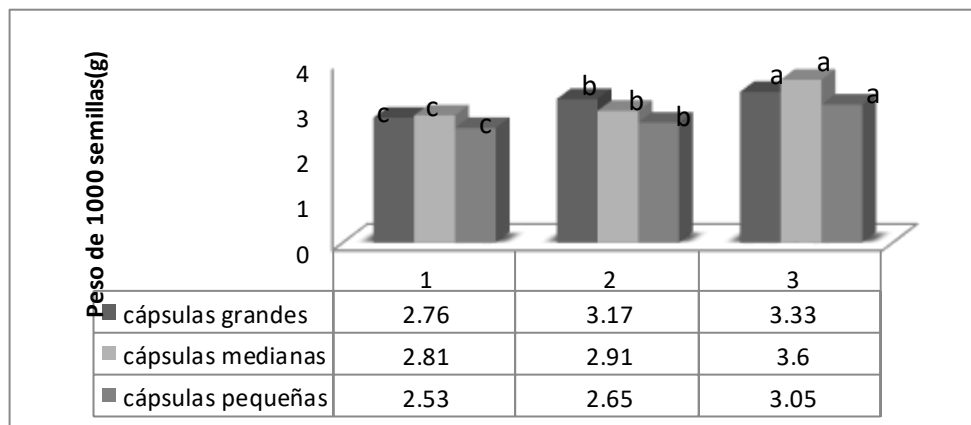
Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Peso de 1000 semillas por tamaño de las cápsulas

El peso de mil semillas según el tamaño de las cápsulas mostró valores superiores en el tratamiento con la mayor dosis de biocarbón con diferencias significativas con los demás tratamientos (figura 2). La dosis de 40 t ha⁻¹ ocupó una posición intermedia y superior al testigo.

Figura 2.

Peso de 1000 semillas por tamaño de cápsulas



Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Chaveco *et al.*, (2015) describen el tamaño de la cápsula de 3 cm y un peso de 3 g x 1000 semillas, resultados que coincide con los obtenidos con la aplicación de 80 t ha⁻¹ y en las capsulas grandes con dosis de 40 t ha⁻¹. Eifediyi *et al.* (2022) alcanzaron entre 3.2 y 4 g con la aplicación de biocarbon de aserrín como enmienda al suelo, sin embargo, alanzaron menor rendimiento total del cultivo (0.6 t ha⁻¹) lo que lo relacionan con un menor número de semillas.

Comportamiento del rendimiento total

El rendimiento agrícola alcanzado en el tratamiento de 80 t ha⁻¹ de biocarbón (tabla 6) difiere significativamente de los demás tratamientos con 1,98 t ha⁻¹ seguido del tratamiento de 40 t ha⁻¹ con 1,40 t ha⁻¹. Los menores valores los alcanzó el tratamiento testigo, lo que puede atribuirse a la degradación de las propiedades físicas y nutricionales del suelo.

Tabla 6.

Comportamiento del rendimiento del cultivo (t ha⁻¹)

Tratamientos	Rendimiento t ha ⁻¹
Testigo	0,68 c
Biocarbón (40 t ha ⁻¹) + EE	1,40 b
Biocarbón (80 t ha ⁻¹) + EE	1,98 a
CV (%)	20,0
EE±	0,08

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p≤0,05)

Según Lehmann y Joseph (2015), los biocarbones derivados de estiércoles animales presentan mayores concentraciones totales y disponibles de fósforo que los obtenidos de residuos leñosos o agrícolas, favoreciendo una liberación progresiva de este nutriente y satisfaciendo la demanda del cultivo durante etapas críticas. En este sentido, Queiroga et al. (2018) señala que la disponibilidad de nitrógeno y fósforo constituye uno de los principales factores limitantes del rendimiento del ajonjolí, por lo que el uso de biocarbón puede contribuir a compensar dichas deficiencias en el suelo.

Pivaral y Reyes (2024) en estudios de biocarbones de diferentes estiércoles (bovino, caprino, equino), demostraron a través de la caracterización fisicoquímica, que su calidad nutrimental proporciona alternativas para la fertilización agrícola al conservar sus propiedades y concentrarlas en mayor proporción, los que sugieren la producción de biocarbón como una alternativa para mejorar la fertilidad de suelos y favorecer el desarrollo de los cultivos agrícolas.

Diversos estudios, han demostrado que los biocarbones ofrecen beneficios agronómicos, incluyendo aumentos de rendimiento del 10% al 94%, según las

condiciones del suelo, mejoras en la estructura del suelo y la actividad microbiana, reducciones en la lixiviación de nitratos y las emisiones de gases de efecto invernadero. A pesar de las prometedoras perspectivas y los estudios realizados sobre los biocarbones, aún existe poca investigación sobre la comparación directa de diferentes biocarbones utilizados en su producción, considerando los beneficios agronómicos, la idoneidad ambiental y la viabilidad económica para identificar el biocarbón más adecuado para una producción agrícola sostenible (Ozor *et al.* 2026).

Conclusiones

La aplicación combinada de biocarbón y estiércol equino (40-80 t ha⁻¹) redujo la densidad aparente e incrementó la porosidad total y de aireación, con efectos más notorios en la dosis alta.

El uso de la enmienda orgánica, incrementó la altura de plantas, número de cápsulas, peso de 1000 semillas y rendimiento del ajonjolí con valores de 1.98 y 1.35 t ha⁻¹ a 80 y 40 t ha⁻¹, respectivamente.

La enmienda orgánica (biocarbón + estiércol equino) mejora integralmente las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del ajonjolí, representado una estrategia sostenible clave para restaurar suelos degradados y elevar la productividad agrícola.

Referencias bibliográficas

- Chaveco, O., Permuy, N., Leyva, R. M., García, E., Rodríguez, E., Cedeño, Y., & *et al.* (2015). *Cultivos y técnicas para su producción*. VirtuArte, Empresa de Servicios al Arte de Holguín.
- Dravie, E. E., Kortei, N. K., Essuman, E. K., Tettey, C. O., Boakye, A. A., & Hunkpe, G. (2020). Antioxidant, phytochemical and physicochemical properties of sesame seed (*Sesamum indicum* L.). *Scientific African*, 8, e00349. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00349>
- Eifediyi, E. K., Imam, A. Y., Ahamefule, H. E., Ogedegbe, F. O. & Isimikalu, T. O. (2022). Influence of sawdust biochar application on the growth, morphological characters and yield of four varieties of sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 11(2). <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1933189.1274>
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. & Castro, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas e Instituto de Suelos.

- Khan, S., Irshad, S., Mehmood, K., Hasnain, Z., Nawaz, M., Rais, A., ... & Ibrar, D. (2024). Biochar production and characteristics, its impacts on soil health, crop production, and yield enhancement: A review. *Plants*, 13(2), 166. <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/2/166>
- Lehmann, J. & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge.
- Lidman Olsson, E. O., Glarborg, P., Dam-Johansen, K. & Wu, H. (2023). Review of phosphorus chemistry in the thermal conversion of biomass: progress and perspectives. *Energy & Fuels*, 37(10), 6907-6998. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.energyfuels.2c04048>
- Oloniruha, J. A., Ogundare, S. K. & Olajide, K. (2021). Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum*) as influenced by plant population density and organo-mineral fertilizer rates. *Agro-Science*, 20(1), 15-21. <https://dx.doi.org/10.4314/as.v20i1.3>
- Ozor, T., Wei, L. & Alam, S. S. (2026). Review of selecting suitable biochar for biochar-based fertilizer application in sustainable agriculture. *Sustainability Science and Technology*, 3(1), 012001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2977-3504/ae375d/meta>
- Pivaral Chávez, F. L. & Reyes Carrillo, J. L. (2024). *Caracterización de biochar a base de estiércol de bovino, caprino y equino para fertilización agrícola* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].
- Queiroga, V. P., Chávez León, J. V. & Pérez Valenzuela, F. J. (2018). *Cultivo de ajonjolí para los campesinos en los departamentos de Choluteca y valle, Honduras*. https://issuu.com/abarriguda/docs/livro_20honduras
- Rodríguez, A., Arcia, J., Martínez, J. A., Domínguez, C., Herrera, J. y Miranda, A. (2022). Influence of Conservation Agriculture on Some Physical Properties of a Red Ferralitic Soil. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 6(3), 320-326. <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2022.09.012>
- Rodríguez-Manzano, A. & Abreu-Hernández, S. (2015). Producción de semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en las condiciones de Cuba. En *Manual para la producción y conservación de semillas* (pp. 132 – 135). INIFAT – CISP – PROAGRU.
- Singh, H., Northup, B. K., Rice, C. W. & Prasad, P. V. (2022). Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: A meta-analysis. *Biochar*, 4(1), Article 8. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42773-022-00138-1>

- Toková, L., Igaz, D., Horák, J. & Aydin, E. (2020). Effect of biochar application and re-application on soil bulk density, porosity, saturated hydraulic conductivity, water content and soil water availability in a silty loam Haplic Luvisol. *Agronomy*, 10(7), 1005. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071005>
- Zhang, Y., Wang, J. & Feng, Y. (2021). The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. *Catena*, 202, Article 105284. <https://doi.org/10.3390/su141711104>

Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto Sistema de Innovación Agropecuaria Local (PIAL) y a la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación por su contribución a la sostenibilidad alimentaria a partir de la consolidación y extensión de las experiencias de la gestión local de la innovación agropecuaria.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Todos los autores participaron en la concepción, ejecución, análisis y redacción del estudio.