

Efecto del biocarbón de *Dichrostachys cinerea* en el suelo y el rendimiento del ajonjolí (*Sesamum indicum* L.)

Effect of *Dichrostachys cinerea* biochar on soil properties and sesame yield (*Sesamum indicum* L.)

1. Santa Laura, Leyva Rodríguez. Universidad de Las Tunas, Cuba. email: lauraguyana25@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2890-6616>
2. Yamilé Batista Yero. Universidad de Las Tunas, Cuba. email: ybatista.yero@ult.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0002-0331-6954>;
3. Raquel Ruz Reyes. Universidad de Las Tunas, Cuba. email: raqcu2007@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9382-1622>
4. Esteban Peña Peña. Universidad Politécnica Mesoamericana, Cuba. Email: epena@upm.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-1743-0379>

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón de *Dichrostachys cinerea* enriquecido con estiércol equino en la producción de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en suelos Luvisoles háplicos, se desarrolló un estudio en el municipio Las Tunas durante el período julio–noviembre de 2023. Se utilizó el genotipo Blanco 5 A en un diseño de bloques al azar con tres tratamientos y tres réplicas: un testigo sin aplicación y dos dosis de biocarbón (40 y 80 t ha⁻¹), enriquecido con 10 t ha⁻¹ de estiércol equino. Se evaluaron las propiedades físicas del suelo, así como variables morfofisiológicas y el rendimiento del cultivo. Los resultados mostraron que el incremento de la dosis de biocarbón redujo la densidad aparente y aumentó la humedad, la porosidad total y la porosidad de aireación del suelo. Asimismo, se observaron efectos

positivos en la altura de las plantas, diámetro del tallo, número de cápsulas por planta, peso de 1000 semillas y rendimiento, sin diferencias significativas entre las dosis evaluadas. Se concluye que el biocarbón enriquecido con estiércol equino constituye una alternativa sostenible para mejorar la calidad del suelo y aumentar el rendimiento del cultivo de ajonjolí.

Palabras clave: *Dichrostachys cinerea*, propiedades físicas, compactación, rendimiento, calidad del suelo

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of different doses of *Dichrostachys cinerea* biochar enriched with horse manure on sesame (*Sesamum indicum* L.) production in Haplic Luvisol soils. The research was conducted in Las Tunas municipality, Cuba, from July to November 2023. A randomized block design with three treatments and three replicates was used, including a control without application and two biochar doses (40 and 80 t ha⁻¹), enriched with 10 t ha⁻¹ of horse manure. Soil physical properties, morphophysiological variables, and crop yield were evaluated. The results showed that increasing biochar doses reduced bulk density and increased soil moisture, total porosity, and aeration porosity. Positive effects were also observed in plant height, stem diameter, number of capsules per plant, 1000-seed weight, and yield, with no significant differences between the evaluated doses. It is concluded that biochar enriched with horse manure is a sustainable alternative to improve soil quality and enhance sesame yield.

Keywords: *Dichrostachys cinerea*, physical properties, compaction, yield, soil quality

INTRODUCCIÓN

El Ajonjolí, también conocido como Sésamo (*Sesamum indicum*, L.) es un cultivo considerado oleaginoso debido al alto contenido de aceite que presenta su semilla, el que proporciona diversos beneficios para la salud, como propiedades antilipogénicas, hipocolesterolémicas, antidegenerativas y promotoras de la salud neuronal, lo que lo convierte en un candidato potencial para mantener la diversidad de aceites comestibles y aprovechar sus beneficios para mejorar la salud humana (Langyan *et al.*, 2022).

El sésamo es una planta robusta que requiere menos insumos agrícolas y agua en comparación con otros cultivos intensivos, lo que lo convierte en una opción sostenible para los sistemas de producción. Su cultivo con bajo consumo de agua mejora la salud del suelo, reduce la necesidad de pesticidas y se adapta a diferentes condiciones climáticas (IBRAFE, 2023).

La fertilización es esencial para el cultivo de ajonjolí, ya que provee los nutrientes necesarios según los requerimientos del cultivo y la disponibilidad en el suelo, ya sea orgánica o química (Chile-Flores *et al.*, 2022). Quiroga *et al.*, (2018) destacan que la falta de nitrógeno y fósforo limita los rendimientos, compensable con fertilizantes orgánicos.

En Las Tunas, provincia cubana, se ha desarrollado la producción de esta planta de forma tradicional desde hace varias décadas, aunque más recientemente se ha impulsado su cultivo, y con este propósito se ha sembrado en diversas áreas, en las que predomina, una amplia gama de suelos. La presente investigación se desarrolló en una región donde los suelos predominantes son Luvisoles háplicos, caracterizados por presentar una textura arcillosa gruesa, que propicia compactación en los horizontes subsuperficiales y susceptibilidad a la erosión (Leyva, 2013), por lo que se hace necesario buscar alternativas como la inclusión de materiales orgánicos que particularmente mejoren sus propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Según Silva (2016) el biocarbón tiene el potencial de proporcionar varias mejoras en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos; Altamirano *et al.* (2013) señala que la adición de biocarbón al suelo, mejoró su calidad, al aumentar los niveles de materia orgánica, pH, N y P disponibles, así como el crecimiento de las plantas de manera proporcional con el aumento de la dosis de biocarbón, por lo que el objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón de *D. cinerea* enriquecido con estiércol equino en el mejoramiento de las propiedades físicas y la producción del ajonjolí.

MATERIALES Y METODOS

Zona de estudio

La investigación se realizó en la zona norte del municipio de Las Tunas, en áreas del productor Rafael Durañona Santana perteneciente a la CCS Eliseo Reyes, ubicada en las coordenadas 20°59'42.21"N 76°51'53.97"O, en el período comprendido de Julio a Noviembre del 2023. El suelo se clasifica como Luvisol háplico (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas. Cada parcela contó con cuatro surcos de 2 m de largo a una distancia entre surcos de 0.60 m y 0.10 m entre plantas. El área de cada parcela fue de 4.8 m², para un área total de 78.2 m². Los tratamientos consistieron en un control absoluto y dos dosis de biocarbón (40 y 80 t ha⁻¹), enriquecido con 10 t ha⁻¹ de estiércol equino. En el área de investigación para la determinación de las propiedades físicas se seleccionaron 5 puntos al azar y se establecieron minicalcatas tomando muestras a diferentes profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 cm en la época de lluvias, coincidiendo con la humedad a capacidad de campo y se determinó la densidad aparente (método del cilindro NC ISO 11272:2003). La porosidad total y porosidad de aireación se determinaron mediante fórmulas.

La preparación del suelo se realizó con tracción animal con el uso del tiller a una profundidad de 30 cm. Antes de la siembra se procedió a realizar la mezcla de los materiales a aplicar: biocarbón y estiércol equino y luego de delimitar el área

y las parcelas se aplicó la mezcla orgánica 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 de forma manual, utilizando semillas del cultivar Blanco 5 A, a la profundidad de 2 -3 cm. Se realizaron cuatro riegos en todo el ciclo del cultivo, coincidiendo según las cuatro etapas críticas de desarrollo del cultivo.

La cosecha se realizó de forma manual. Las plantas cosechadas en cada parcela en la fase de madurez se expusieron al sol durante tres días para lograr así un buen secado del grano, la trilla se realizó cuando los granos contenían el 18% de humedad utilizando el medidor digital portátil “Gehaka 600”.

Se seleccionaron 10 plantas por tratamiento/réplica marcadas inicialmente y seleccionadas al azar en los dos surcos centrales de cada parcela, a las cuales se les midió en la fase de floración y cosecha: diámetro del tallo basal y altura de la planta.

En la fase de cosecha se evaluó: número de cápsulas por planta, peso de 1000 semillas por tamaño de cápsulas, rendimiento de semillas según tamaño de las cápsulas (kg ha^{-1}) y rendimiento total (t ha^{-1}).

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) en el programa estadístico SPSS versión 25.0 para Windows. Se determinaron los principales estadígrafos (media aritmética y error estándar de la media). La comparación de medias se realizó con la prueba de Duncan a un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

La densidad aparente en todas las profundidades evaluadas mostró diferencias significativas entre tratamientos (tabla 1). La aplicación de B+ EE en dosis de 80 t ha^{-1} la densidad aparente disminuyó, con diferencias significativas respecto al testigo y a la dosis de 40 t ha^{-1} , esta a su vez difirió del testigo, el que presenta

valores inferiores. En ambas dosis de B+EE se alcanzan densidades óptimas (1.3-1.4 Mg m⁻³) para el desarrollo del cultivo en suelos de textura franca.

Tabla 1. Influencia de las enmiendas orgánicas en la densidad aparente del suelo

Tratamientos	Densidad aparente (Mg m ⁻³)		
	0-10	10-20	20-30
Testigo	1,57 a	1,74 a	1,79 a
B (40 t ha⁻¹) + E.E.	1,29 b	1,35 b	1,40 b
B (80 t ha⁻¹) + E.E.	0,95 c	1,06 c	1,16 c
CV (%)	10,7	10,68	9,5
EE±	0,04	0,044	0,038

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Según Berihun *et al.* (2017) con la aplicación de biocarbón de coronta de maíz se alcanzó una reducción de la densidad aparente en rangos de 0,71 Mg m⁻³, valores superiores a lo que se reporta en este trabajo donde se disminuyó en un rango de reducción de 0,2 -0.3 Mg m⁻³, valor que resulta de la comparación entre el antes y el después de la aplicación de la enmienda.

Sin embargo, los resultados de la presente investigación con los obtenidos por Nieto (2019), con la aplicación de biocarbón enriquecido con biol de vacaza donde redujo la densidad aparente en un rango de reducción de 0,18 Mg m⁻³. Esta disminución de la densidad aparente, mejora la aireación, reduce la compactación, y facilita la penetración de las raíces (Garau *et al.*, 2024; Sharma *et al.*, 2025). Esta reducción puede estar relacionado con la más baja densidad del biocarbón (0,6- 0,75 gcm⁻³) (Mateos, 2018).

La porosidad total en todas las profundidades mostró diferencias significativas (tabla 2), con el mayor valor para la dosis de 80 t ha⁻¹, seguido del tratamiento de 40 t ha⁻¹, y el testigo que alcanzó los menores valores el que difiere significativamente ($p \leq 0,05$), con los demás tratamientos, con una calificación de muy baja (<40.0 %). Con la aplicación de ambas dosis se alcanzan valores adecuados para el desarrollo de los cultivos.

Según Kauffman *et al.* (2014), la aplicación de biocarbón reduce la densidad aparente del suelo, y adicionalmente incrementa su porosidad y aireación. La incorporación de biochar en el suelo altera las propiedades físicas como la

estructura, la distribución de poros y la densidad, lo que conduce a una buena aireación (Joseph *et al.* 2020; Tokova *et al.* 2020).

Tabla 2. Influencia de las enmiendas orgánicas en la porosidad total y de aireación

Tratamiento	Porosidad			Porosidad de aireación (%)		
	0-	10-	20-	0-10	10-	20-
Testigo	36,	34,2	32,3	8,49	2,32	0,52
biocarbón	47,	48,9	47,0	21,3	21,5	18,6
biocarbón	61,	59,8	56,2	41,9	38,0	31,8
CV (%)	5,8	6,0	6,4	24,0	5,4	6,04
EE±	0,0	0,03	0,03	0,10	0,09	0,08

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Al agregar biocarbón enriquecido con EE se logró incrementar la porosidad del suelo hasta un 47,7 % es decir, aumentó un rango de 10-12 % respecto al testigo, resultado ligeramente mayor a lo obtenido por Sun y Lu (2014) que utilizaron biocarbón de paja ($90 - 135 \text{ t ha}^{-1}$) en un suelo arcilloso, obtuvieron una diferencia (incremento) de 6 % en la porosidad total entre los tratamientos con biocarbón y el control.

En todas las profundidades la porosidad de aireación incrementó con la aplicación de B+EE, al ser superior a dosis mayores con diferencias significativas con el testigo. El tratamiento testigo alcanzó valores inferiores al 10%, crítico para el desarrollo de las raíces, que determina la baja productividad de este suelo.

Según Abel *et al.* (2013), la introducción de biocarbón en suelos infértiles y parcialmente degradados facilitó en gran medida la descompactación del suelo.

Influencia de la aplicación del biocarbón y estiércol equino en los parámetros morfofisiológicos y de rendimiento del ajonjolí.

La altura de las plantas fue superior en los tratamientos con aplicación de B+EE sin diferir entre las dosis aplicadas, ambos tratamientos difieren del testigo (tabla 3). Resultados similares fueron obtenidos por Centeno y Poveda (2010) en el cultivo del ajonjolí, a los 32 días de la siembra las plantas abonadas con fertilización química alcanzaron 38 cm de altura.

Eifediyi *et al.* (2022) con el uso de biocarbón de aserrín como enmienda con dosis de 15 t ha⁻¹ produjeron las plantas más altas, significativamente diferentes de las otras dosis en los tres períodos de muestreo en los dos años de estudio. El diámetro del tallo no presentó diferencias significativas en la fase de floración, pero si en la cosecha. La mayor dosis de aplicación presentó diferencias significativas respecto al testigo, sin diferir de la dosis de 40 t ha⁻¹ y este no difiere del testigo. Chile-Flores *et al.* (2022) al realizar el análisis de varianza de la variable diámetro del tallo basal no encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos.

Tabla 3. Altura y diámetro de las plantas a inicios de la floración y en la cosecha

Tratamientos	Altura	Diámetro	Altura	Diámetro(cm)
	Inicios	de la	En la cosecha	
Testigo	33,35	0,70	1,25 b	1,13 b
biocarbón (40)	38,45	0,72	1,36 a	1,23 ab
biocarbón (80)	42,70	0,77	1,40 a	1,30 a
CV (%)	5,60	7,30	8,4	16,3
EE±	0,0112	0,0081	0,019	0,02

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Número de cápsulas por planta

El número de cápsulas por planta (figura 1) fue superior en los tratamientos de biocarbón y estiércol equino, con diferencias significativas con el testigo y sin diferir entre dosis de aplicación. Chaveco *et al.* (2015) describe para esta variedad un máximo de 68 cápsulas por planta, por lo que estos resultados se acercan al límite propuesto por estos autores.

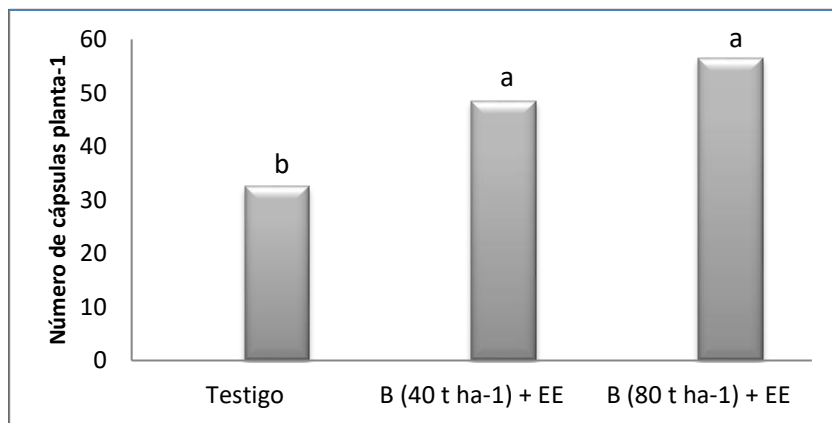


Figura 1. Número de cápsulas por planta

Peso de 1000 semillas por tamaño de cápsulas

El peso de 1000 semillas con la aplicación de B+EE mostró valores superiores con diferencias significativas respecto al testigo, existiendo entre ellos diferencias según el tamaño de las cápsulas (figura 2). El peso de las semillas en las cápsulas grandes y pequeñas fue superior en el tratamiento de 40 t ha⁻¹ y las cápsulas medianas en el tratamiento de 80 t ha⁻¹.

Eifediyi *et al.* (2022) alcanzaron valores entre 3.2 y 4 g con la aplicación de biochar de aserrín como enmienda al suelo en los dos años de aplicación. Por otra parte Chaveco *et al.* (2015) en el Manual de Cultivos y Técnicas para su producción describe un peso de 3g x 1000 semillas, lo que coincide con los resultados obtenidos en este trabajo.

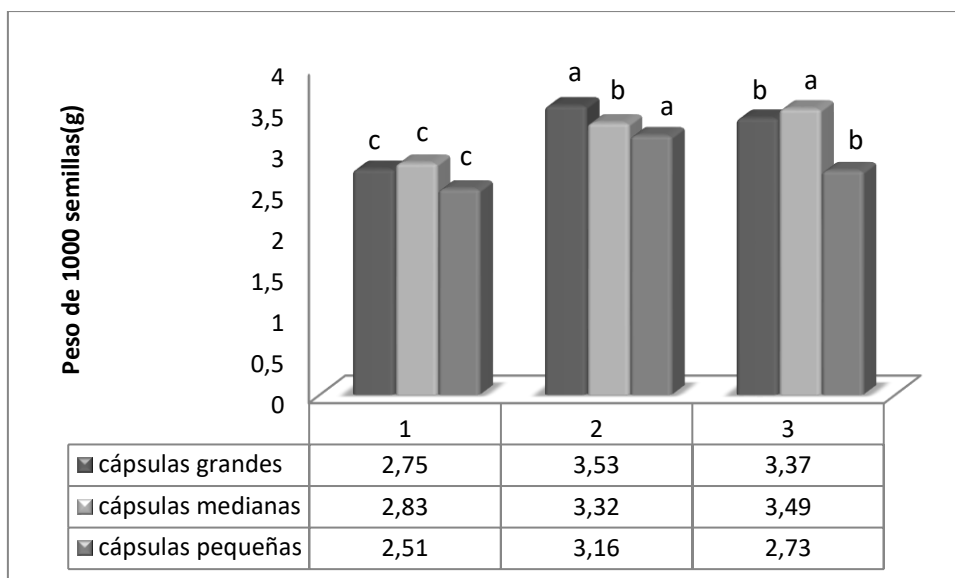


Figura 2. Peso de 1000 semillas según tamaño de las cápsulas

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

1: Testigo 2: B (40 t ha⁻¹) + EE 3: B (80 t ha⁻¹) + EE

Rendimiento del cultivo según tamaño de las cápsulas (kg ha⁻¹)

El rendimiento alcanzado según el tamaño de las cápsulas (tabla 4) mostró que las capsulas grandes no difieren entre tratamientos, pero si las capsulas medianas y pequeñas. Las medianas en los tratamientos con B + EE alcanzaron valores superiores respecto al testigo y es el tamaño de cápsula que alcanza mayor peso. Las capsulas pequeñas mostraron mayores valores en la dosis de

80 t ha⁻¹ y difiere significativamente de los demás tratamientos, seguido del tratamiento con 40 t ha⁻¹, el que difiere del testigo, con los menores valores.

Tabla 4. Rendimiento del cultivo según el tamaño de las cápsulas (kg ha⁻¹)

Tratamientos	Cápsulas grandes	Cápsulas medianas	Cápsulas pequeñas
Testigo	310,5	271,3 b	45,0 c
biocarbón (40 t	332,5	541,9 a	101,0 b
biocarbón (80 t	448,9	676,5 a	141,6 a
CV (%)	7,2	7,0	12,2
EE±	0,06	0,062	0,07

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados superiores en los tratamientos con biocarbón y estiércol equino puede estar relacionado en que a medida que se mejoran las propiedades del suelo, se abordan las limitaciones inherentes a la producción de cultivos, lo que conducirá a un aumento en la producción de biomasa (Jeffery *et al.*, 2017).

Comportamiento del rendimiento total

El cultivo alcanzó rendimientos superiores a 1 t ha⁻¹ en ambos tratamientos enmendados con biocarbón y estiércol equino sin diferencias significativas entre ellos, pero si difieren del testigo (figura 3). Estos resultados podrían relacionarse a la mejora de la disponibilidad de nutrientes por el aumento del contenido de materia orgánica del suelo, la mayor capacidad de retención de agua y la disminución de la lixiviación de nutrientes (Cao *et al.* 2018).

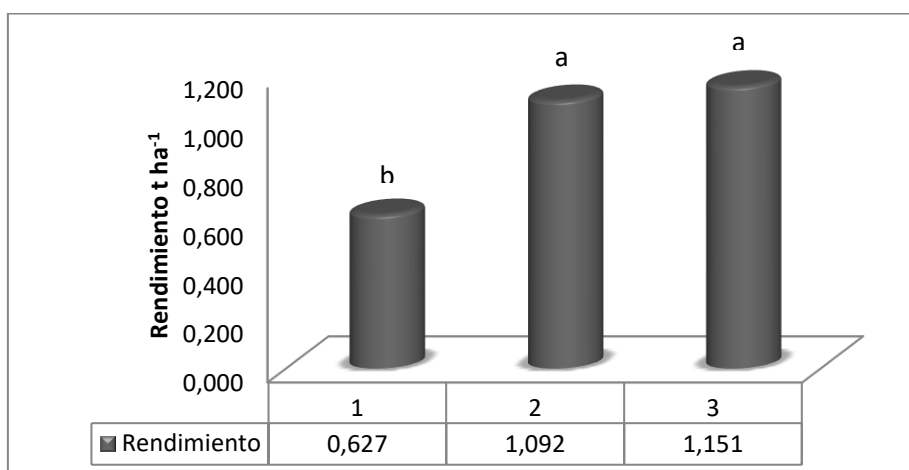


Figura 3. Rendimiento total del cultivo en los tratamientos estudiados

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

1: Testigo 2: B (40 t ha⁻¹) + EE 3: B (80 t ha⁻¹) + EE

Los rendimientos obtenidos se ubicaron en el rango de esta especie entre 0,3 y 1,06 t ha⁻¹, informado por Zárate *et al.* (2011) y de 0,76 t ha⁻¹ (FAO, 2018) y Rodríguez *et al.* (2018) reportan entre 0,5 y 1,45 t ha⁻¹.

CONCLUSIONES

La aplicación de biocarbón de *D. cinerea* enriquecido con estiércol equino es una alternativa eficaz para mejorar las propiedades físicas de suelos compactados como los Luvisoles háplicos, reduciendo su densidad y aumentando la porosidad.

Esta enmienda orgánica tiene un efecto positivo en el crecimiento y en todos los componentes del rendimiento del ajonjolí, logrando incrementos sustanciales en la producción final.

Aunque la dosis más alta (80 t ha⁻¹) tuvo un mayor impacto en las propiedades físicas del suelo, no se tradujo en un rendimiento agrícola significativamente mayor que la dosis de 40 t ha⁻¹. Esto sugiere que dosis menores podrían ser agronómica y económicamente más eficientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M. y Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202, 183-191.

Altamirano, C., Calderón, C., Diez, M.C. y Gallardo, F. (2013). *Uso de biocarbón proveniente de una caldera de biomasa en el cultivo de maíz en un andisol en el sur de Chile*. III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management 12th to 14th march 2013- Sao Pedro, Sao Paulo State, Brazil.

Amo Mateos, E. D. (2018). *Producción de biochar a partir de material bioestabilizado* (Tesis de licenciatura, Universidad de Valladolid). Repositorio institucional <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/31220/TFG-I-894.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Berihun, T., Tolosa, S., Tadele, M. y Kebede, F. (2017). Effect of biochar application on growth of garden pea (*Pisum sativum* L.) in acidic soils of Bule Woreda Gedeo Zone southern Ethiopia. *International Journal of Agronomy*.

Cao, Y., Gao, Y., Qi, Y. & Li, J. (2018) Biochar-enhanced composts reduce the potential leaching of nutrients and heavy metals and suppress plant-parasitic nematodes in excessively fertilized cucumber soils. *Environ Sci Poll Res* 25:7589–7599. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1061-4>

Chaveco, O., Permuy, N., Leyva, R.M., García, E., Rodríguez, E., Cedeño Y., Ferras, L., Ramos, S., Sánchez, A., Reyes, S., Texido, R., Ortíz, R., Plana, D., Piñero, F. y Ramirez, F. (2015). Cultivos y Técnicas para su producción. *VirtuArte*, de la Empresa de Servicios al Arte de Holguín.

Chile-Flores, N.R., Rodríguez-Urrutia, E.A., Molina-Escalante, M.O., Rodríguez-Gracias, O.A. y Carranza-Estrada, F.A. (2022). Evaluación de cinco dosis de un fertilizante químico y una dosis de fertilizante orgánico en el desarrollo y rendimiento del cultivo de ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.) en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador. *Agrociencia*, VI (22): 6-17, <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia>

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>

FAO (2018). Área cosechada y producción de cultivos por países. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

Garau, M., Lo Cascio, M., Vasileiadis, S., Sizmur, T., Nieddu, M., Pinna, M. V., Sirca, C., Spano, D., Roggero, P. P., Garau, G., & Castaldi, P. (2024). Using biochar for environmental recovery and boosting the yield of valuable non-food crops: The case of hemp in a soil contaminated by potentially toxic elements (PTEs). *Heliyon*, 10(6), e28050. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E28050>

Gil-Albarova, A., Martínez, A., Tunnicliffe, A. y Moneo, J. (2013). Estudiantes universitarios y calidad del Plan de acción tutorial. Valoraciones y mejoras.

Revista de Docencia Universitaria, 11(2), 63–88. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4414547>

IBRAFE (2023). Gergelim: Uma fonte promissora para a saúde e a indústria alimentícia. <https://www.ibrafe.org/artigo/gergelim-uma-fonte-promissora-para-a-saude-e-a-industria-alimenticia>.

Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., Van Groenigen, J.W., Hungate, B.A. & Verheijen, F. (2017) Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environ Research Letters* 12:053001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/12/5/053001>

Joseph, U.E., Toluwase, A.O., Kehinde, E.O., Omasan, E-E., Tolulope, A.Y., George, O.O., Zhao, C. & Hongyan, W. (2020) Effect of biochar on soil structure and storage of soil organic carbon and nitrogen in the aggregate fractions of an Albic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science* 66(1):1-12.

Kauffman, N., Dumortier, J., Hayes, D. J., Brown, R. C. & Laird, D. A. (2014). Producing energy while sequestering carbon? The relationship between biochar and agricultural productivity. *Biomass and Bioenergy*, 63, 167-176.

Langyan, S., Yadava, P., Sharma, S., Gupta, N. C., Bansal, R., Yadav, R., ... & Kumar, A. (2022). Food and nutraceutical functions of sesame oil: An underutilized crop for nutritional and health benefits. *Food chemistry*, 389, 132990.

Leyva Rodríguez, S. L. (2013). *Valoración de indicadores de calidad para el diseño e implementación de tecnologías de manejo en Luvisoles de la zona norte de la provincia de Las Tunas, Cuba* (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid).

Nieto Iturri, W. G. (2019). *Uso del biocarbón para reducir la compactación de un suelo sobrepastoreado usando como indicador el rendimiento del Zea mays variedad INIA 616* (Tesis de grado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia).

Quieroga, V, P, Chávez León, J.V. y 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, I., Pérez H. I., García, R. M. & Sánchez, Z. S. (2018). Efectos de la densidad de población en parámetros agronómicos del cultivo ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.). *Revista Científica Agroecosistemas* 6 (3): 33-39.

Sharma, P., Abrol, V., Nazir, J., Samnotra, R. K., Gupta, S. K., Anand, S., Biswas, J. K., Shukla, S. & Kumar, M. (2025). Optimizing soil properties, water use efficiency, and crop yield through biochar and organic manure integration in organic soil. *Journal of Environmental Management*, 373, 123673. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123673>

Silva, W. D. M. (2016). Aplicação do biochar de resíduos de café em neossolo regolítico: efeitos nas características químicas e biológicas e na produção de milho e feijão.

Sun, F. y Lu, S. (2014). Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 26-33.

Tokova, L., Igaz, D., Horák, J. y 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>

Zárate Gabriaguez, C. L., Oviedo de Cristaldo, R. M. & González Espínola, D. D. (2011). Rendimiento del cultivo de sésamo (*Sesamum Indicum* L.), variedad Mbarete, en diferentes épocas de siembra y poblaciones de plantas. *Investigación agraria*, 13(2), 67-74.