

# Efecto del biocarbón en invertebrados de suelo: resultados preliminares

## Biochar effect on soil invertebrates: preliminary results



<https://cu-id.com/2247/v38e14>

Heyker L. Baños Díaz<sup>1\*</sup>, Lázaro Cuellar Yanes<sup>1</sup>,  
 Reinaldo Chico Morejón<sup>1</sup>, Mayra G. Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Entomología-Acarología. Departamento de Sanidad Vegetal. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Carretera de Jamaica y Autopista Nacional. Apto 10. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>2</sup>Laboratorio de Nematología. Departamento de Sanidad Vegetal. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Carretera de Jamaica y Autopista Nacional. Apto 10. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

**RESUMEN:** La mesofauna del suelo comprende un grupo de artrópodos, cuyo tamaño del cuerpo oscila entre 0,2 y 2,0 mm. Estos son importantes en la transformación de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo. Los ácaros oribátidos y los colémbolos destacan dentro de los grupos faunísticos que habitan el suelo por su número, diversidad, abundancia de especies y actividad, así como por su ciclo de vida corto, gran aptitud para la especiación y poca dispersión de las especies adaptadas a la vida edáfica y a diferentes tipos de suelos. Debido a las características antes mencionadas, estos artrópodos se utilizan como indicadores biogeográficos-ecológicos; de la calidad y salud de los suelos. El empleo de biocarbón (en inglés Biochar) como enmienda de suelos para mejorar la fertilidad y mitigar el cambio climático, es una práctica común. Se utilizó biocarbón de cascarilla de arroz en tres concentraciones. En cada unidad experimental se colocaron cuatro plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivar L43. Semanalmente, se tomó una muestra compuesta de cada tratamiento y se colocaron durante siete días en embudos de Berlese-Tullgren. Posteriormente, las muestras recolectadas se revisaron al estereomicroscopio, separando los individuos por morfoespecies para su posterior montaje e identificación. Se identificaron artrópodos pertenecientes a varios grupos: Insecta (Hymenoptera, Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera), Acari y Collembola. Se observó un incremento del número de Colémbolos a los 28 días en el tratamiento, con 75 % Biochar (cascarilla de arroz). En el caso de los ácaros, los órdenes más representados fueron Oribatida (Cryptostigmata), Prostigmata y Mesostigmata, con un incremento de sus poblaciones a los 28 días en los contenedores, con 25 % Biochar. En el control se demostró una influencia positiva del biocarbón en los artrópodos del suelo, expresado en el incremento de la cantidad de colémbolos y ácaros, destacándose la recuperación de la actividad biológica del suelo, a corto plazo.

**Palabras claves:** ácaros oribátidos, colémbolos, insectos, cascarilla de arroz, biocarbón.

**ABSTRACT:** The soil mesofauna comprises a group of arthropods, whose body size ranges from 0.2 to 2.0 mm, and which are important in transforming soil organic matter, recycling nutrients, and improving physical properties of the ground. Within the faunal groups that inhabit the soil, oribatid mites and springtails stand out because of their number, diversity, abundance of species and activity; great aptitude for speciation, short life cycle and little dispersion of species adapted to edaphic life and to different types of soils. Due to these characteristics, these organisms are used as biogeographic-ecological indicators and indicators of the soil quality and health. The use of biochar (Biocarbón in Spanish), as a soil amendment, to improve fertility and mitigate climate change is becoming a common practice. Rice husk biochar was used in three concentrations. Four tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) cultivar L43 were placed in each experimental unit. A composite sample of each treatment was taken weekly and placed in Berlese-Tullgren funnels for seven days. Subsequently, the collected samples were examined under the stereomicroscope and the individuals were separated by morphospecies for their subsequent slide mounting and identification. Arthropods belonging to the groups Insecta (Hymenoptera, Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera), Acari, and Collembola were identified. An increase in the number of Collembola was observed in the treatment with 75% Biochar (rice husk) after 28 days. In the case of mites, the most represented orders were Oribatida (Cryptostigmata), Prostigmata, and Mesostigmata, with an increase in their populations in the containers with 25% Biochar after 28 days. A positive influence of biochar on soil arthropods was demonstrated, expressed by the increase in the number of springtails and soil mites with respect to the control, with an outstanding recovery of soil biological activity in the short term.

**Keywords:** oribatid mites, springtails, insects, rice husks, biochar.

El suelo brinda varios servicios ecosistémicos, que se consideran críticos para la vida. En primer lugar, contribuye a la biodiversidad del planeta porque provee de hábitat a millones de organismos, en tanto constituye la base para el desarrollo de los diferentes agroecosistemas (1).

\*Correspondencia a: Heyker L. Baños Díaz. E-mail: [hllellani82@gmail.com](mailto:hllellani82@gmail.com)

Recibido: 28/03/2023

Aceptado: 26/09/2023

La transformación de los ecosistemas naturales con fines agrícolas ha provocado cambios negativos en la composición y estructura de la fauna que habita el suelo, así como en el funcionamiento de este recurso y en general, del ecosistema. La eliminación de los invertebrados edáficos guarda una relación directa con la estabilidad y fertilidad del suelo. De ahí, que las variaciones ocurridas en estas comunidades dependen, en primera instancia, de los cambios y la intensidad con la cual se usa la tierra (2).

Los ácaros oribátidos y colémbolos, dentro de los grupos faunísticos que viven en el suelo, son los más importantes por su riqueza de especies, abundancia y actividad. Estos grupos se consideran indicadores biogeográficos y ecológicos, debido a su gran aptitud para la especiación y corto ciclo de vida. También, por la baja dispersión de las especies adaptadas a la vida edáfica en diferentes tipos de suelo; y atendiendo a sus hábitos alimenticios, facilitan la transformación de la materia orgánica y de las propiedades físicas del suelo (3, 4). Basándose en los cambios ocurridos en sus comunidades, provocados por las diferentes prácticas de manejo, estos grupos sirven como indicadores de las condiciones de conservación/perturbación/salud de los suelos (5).

Estudios realizados por Uribe-Hernández *et al.* (6) concluyen que las propiedades del suelo, tales como pH, EC, MO, Cationes intercambiables ( $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) y los hidrocarburos afectan la composición y abundancia de las comunidades de Collembola. Especies como *Acherontides ca. juxtlahuacaensis* Palacios-Vargas & Gómez-Anaya y *Smithurides sp.* son indicadoras de ambientes ácidos, con concentraciones altas de hidrocarburos; mientras que, especies como *Folsomides sp.*, *Ballistura sp.* y *Pseudosinella sp.* tienen afinidad con suelos neutros, cuya cantidad de hidrocarburos es menor. Por ejemplo, la presencia de especies, como *Folsomia candida* Willem, y de poblaciones de isópodos constituyen un valioso indicador ecotoxicológico de la modificación o daño en los ecosistemas terrestres en sitios contaminados con hidrocarburos policíclicos aromáticos, debido a sus hábitos alimenticios y su importancia en las cadenas tróficas (6, 7).

El biocarbón ha recibido mucha atención, no solo como un medio potencial para mitigar el cambio climático a través del secuestro de carbono, sino también porque puede ser útil en la fertilidad del suelo. Se ha demostrado que este último efecto, se relaciona con un aumento en el pH y puede mejorar la retención de nutrientes. Por sus bondades y características, ha sido ampliamente utilizado para la biorremediación de los suelos en la agricultura moderna (8).

En Cuba, se fomenta su utilización en la agricultura, ya sea enriquecido con nutrientes orgánicos y microorganismos edáficos o como sustrato para semilleros o plántulas (9). Sin embargo, hasta el momento, se desconocen los efectos de este bioproducto incorporado al suelo en la mesofauna edáfica, específicamente, en los

artrópodos. El objetivo de nuestro trabajo fue evaluar, en condiciones de laboratorio, el efecto de distintas concentraciones de biocarbón de cascarilla de arroz sobre la mesofauna del suelo.

Se empleó suelo ferralítico rojo sin esterilizar, procedente de las áreas agrícolas del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) (22,991867 W; -82,153892 N) el cual se trasladó a los laboratorios de Entomología-Acarología de la institución, y se colocó mezclado con biocarbón (obtenido por pirólisis de la cascara de arroz) en diferentes proporciones (Tabla 1) en contenedores de polipropileno de 500 ml. En cada unidad experimental se plantaron cuatro plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. var L43). Se consideraron tres réplicas por tratamiento. Se aplicó riego en días alternos y se mantuvo bajo condiciones controladas ( $25 \pm 1^\circ C$ , 75 % HR y fotoperiodo natural).

**Tabla 1.** Variantes experimentales / Experimental variants.

Tratamiento	Suelo	Carboncillo de cáscara de arroz
Control	500g	-
T1	375g	125g
T2	250g	250g
T3	125g	375g

Semanalmente, se tomó una muestra de suelo de cada tratamiento para registrar los efectos del carboncillo de arroz sobre la densidad poblacional de artrópodos presentes en el suelo. La extracción de la mesofauna presente en las muestras de suelo, se realizó mediante la utilización de embudos Berlese-Tullgren (con modificaciones). Para su construcción, se emplearon tamices de 1,5 a 2 mm de ancho de poro, colocados sobre embudos de cristal con mangueras de silicona transparente a las que se ajustaron tubos de polipropileno blanco de 10 ml, con alcohol etílico al 70 %, y sometidos a luz artificial durante 24 horas, por siete días consecutivos. Sobre los tamices se extendió de cada tratamiento una capa de 1 cm de grosor, aproximadamente. Transcurridos siete días, se retiró e identificó el frasco colector de cada embudo, y se procedió después a agrupar por morfoespecie bajo el microscopio estereoscópico Zeiss A1 para su posterior montaje e identificación, según claves correspondientes.

Se recolectaron 97 ejemplares en total, entre ellos, (73) distribuidos entre las clases Insecta (con cuatro Ordenes : Coleoptera, Hymenoptera, Hemiptera y Lepidoptera), Collembolla, Protura y Diplura. El resto de los ejemplares recolectados fueron 24 morfotipos de ácaros (clase Arachnida), agrupados en tres Ordenes (Oribatida (Cryptostigmata), Prostigmata y Mesostigmata).

Transcurridos 21 y 28 días después de aplicado biochar al suelo, se observó, en cada tratamiento, el incremento de las poblaciones de artrópodos en cantidad y en diversidad. En el caso de los insectos, se duplicó la totalidad de individuos, contabilizando

32 a los 28 días, con un incremento en la cantidad de morfoespecies encontradas: 12 a los 21 días y 15 a los 28. Este comportamiento pudiera deberse a que el biochar retiene la humedad en el suelo, favoreciendo el desarrollo de hongos y bacterias, que sirven como fuentes de nutrientes a la mesofauna (10).

El mayor incremento en las comunidades de artrópodos, en cuanto a número de individuos y especies representativas, se observó al final del experimento en el orden Collembola, pasando de dos especímenes en el suelo sin tratar, a un total de 25 individuos en los suelos tratados con carboncillo de cáscara de arroz, distribuidos en las especies que se muestran en la Fig. 1 y Fig. 2.

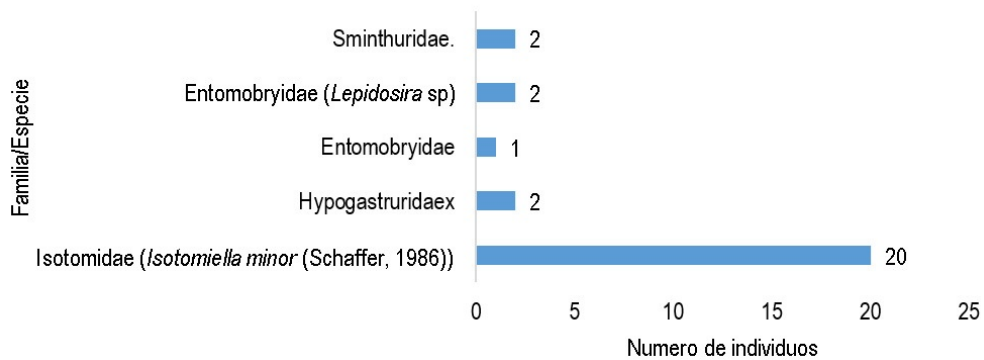
Los resultados mostraron un incremento del número de estas especies a los 28 días en el tratamiento con

75 % Biochar (cascarilla de arroz) (Fig. 3) sobre todo en *I. minor*. En el caso de los ácaros, los órdenes más representados fueron Oribatida (Cryptostigmata), Prostigmata y Mesostigmata, con un incremento de sus poblaciones a los 28 días en los contenedores con 25 % Biochar. Sin embargo, en los contenedores con igual cantidad de biocarbon y suelo, no se obtuvieron muestras de ácaros.

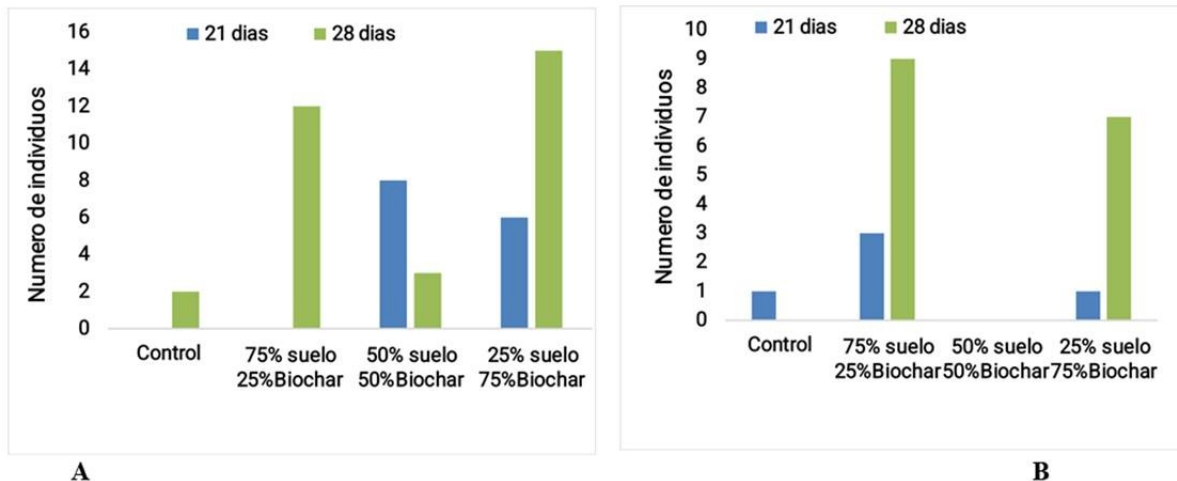
Este comportamiento pudiera deberse entre otros factores, a la disponibilidad de alimento. Por ejemplo, los ácaros pertenecientes al orden Mesostigmata son, en su mayoría, depredadores de pequeños artrópodos (colémbolos, otros ácaros) y nematodos del suelo; a su vez, los Prostigmata pueden tener hábito fitófago, parasito o pueden ser depredadores de invertebrados del suelo (11). En ambos casos, puede esperarse que



**Figura 1.** Ejemplares de Collembola colectados durante el experimento. / *Collembola specimens collected during the experiment.* A. Isotomidae (*Isotomiella minor* (Schaffer, 1986)); B. Hypogastruridae; C. Entomobryidae; D. Entomobryidae (*Lepidosira* sp); E. Sminthuridae.



**Figura 2.** Número de ejemplares de Collembola según familia y/o especies. / *Number of Collembola specimens according to family and/or species*



**Figura 3.** Efecto de los tratamientos con biochar sobre poblaciones de artrópodos en suelo. (A) Insectos y (B) Ácaros / *Effect of biochar treatments on arthropod populations in soil.* (A) Insects and (B) Mites.

el incremento de sus poblaciones se relacione de manera directa con el aumento de la disponibilidad de alimento. Otra de las causas, pudiera relacionarse con la técnica empleada para la extracción de los ácaros. En cualquiera de los casos, se impone profundizar en el estudio del efecto del biocarbón en las poblaciones de ácaros de suelo, y completar la identificación de las especies y familia colectadas.

En general, los resultados demostraron una influencia positiva del biochar en los artrópodos del suelo, expresado en el incremento de la cantidad de colémbolos y ácaros del suelo con respecto al control, destacándose la recuperación de la actividad biológica del suelo, a corto plazo.

La salud y la diversidad de la biota del suelo son fundamentales en las funciones del suelo al impactar en su estabilidad, aireación, ciclo de nutrientes, eficiencia en el uso del agua, capacidad de almacenamiento de carbono y resistencia a las enfermedades (12).

De acuerdo con la literatura consultada, los colémbolos (Hexapoda: Collembola) son un grupo clave de artrópodos del suelo, cuyas densidades puede llegar a miles de individuos por metro cuadrado. La actividad de alimentación de Collembola promueve la mineralización y la descomposición, al tiempo que mejora el sistema de raíces (13). También, de conjunto con los ácaros, contribuyen principalmente, en el ciclo de nutrientes. Estudios mostraron que Collembola tiene la capacidad de reducir la mortalidad de semillas, sobre todo, en plantas de pastizales (14).

Estos organismos son sensibles a los cambios ambientales en el suelo, de ahí que, a menudo la diversidad de especies de Collembola se utiliza como indicador de la calidad del suelo (15). Estos autores encontraron que la adición de biocarbón, provocó un aumento significativo en el número individual de

colémbolos, comparado con el tratamiento sin biocarbón, lo que coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio. A su vez, informaron que la aplicación de enmiendas de biocarbón aumenta la abundancia y diversidad de colémbolos, en condiciones de campo.

Estudios realizados por Briones *et al.* (16) mostraron que las adiciones de biocarbón al suelo tuvieron un efecto positivo en la mesofauna (colémbolos y ácaros); sin embargo, tuvieron un efecto negativo en la fauna de mayor tamaño (lombrices de tierra) reduciendo de manera significativa, el tamaño de sus poblaciones y la riqueza de especies. Estos autores resaltan la necesidad de más investigaciones de campo a nivel de especies para dilucidar completamente los mecanismos que impulsan las respuestas biológicas a estos tipos de manejo de ecosistemas, pues los resultados indicaron que las adiciones de biocarbón podrían resultar en la pérdida de algunos de los servicios ecosistémicos proporcionados por las lombrices de tierra, una preocupación importante en estos suelos agrícolas manejados de manera intensiva.

Uribe-Hernández *et al.* (6) plantean, que en el caso de los suelos empleados para cultivos agrícolas, después de una perturbación, puede ocurrir una reducción selectiva de la diversidad de la fauna del suelo, sobreviviendo, principalmente, ácaros y colémbolos. Sin embargo, durante el presente estudio, se observó que en el suelo utilizado como control la presencia de estos grupos era prácticamente nula, pudiendo ser esto un efecto del alto grado de degradación que presentan los suelos empleados, como sustrato en esta investigación.

Se ha informado también, que las partículas de biocarbón pueden adherirse con facilidad a la cutícula de los colémbolos (*F. candida*) y ser transportadas por estos en el suelo, actuando como vectores para

el transporte hacia lugares donde no se ha aplicado. Esto muestra incluso, preferencias dependiendo de la materia prima obtenida del producto. La distribución de partículas de biocarbón en capas más profundas del suelo, presumiblemente, tiene consecuencias para la interacción de estas partículas con los minerales del suelo y, por lo tanto, en la fertilidad del suelo (10).

Otros autores han abordado la necesidad de ampliar los estudios del efecto de biocarbones sobre la mesofauna del suelo. En este sentido, Godlewska *et al.* (17) refieren que la aplicación de los mismos en el suelo no suele tener un efecto tóxico y suele estimular la actividad de las plantas, las bacterias y los invertebrados. Sin embargo, el efecto está estrictamente determinado por el tipo de biocarbón (especialmente la materia prima utilizada y la temperatura de pirólisis) así como, por el contenido de contaminantes. El pH, la conductividad eléctrica, los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los metales pesados son los principales factores responsables de la toxicidad de algunos tipos de biochar.

Un ejemplo del efecto negativo biochar en *Collembola* fue informado por Conti *et al.* (7), en *F. candida*. Estos investigadores refieren que la especie se ve afectada por el pH (en los casos de evasión, supervivencia y reproducción), el contenido de metales pesados (en el caso de la reproducción) y el contenido de hidrocarburos policíclicos aromáticos (en el caso de la reproducción) de los biocarbones. Por su parte, Reibe *et al.* (13) investigaron el efecto del biochar y el hidrocarbón en *Collembola* y en el crecimiento del trigo. Descubrieron, que aumentar la cantidad de hidrocarbón redujo la población de *Collembola*; mientras que, el biocarbón alteró la morfología de la raíz y aumentó el grosor de las raíces.

Los resultados preliminares obtenidos en el presente estudio, demuestran el efecto positivo que puede tener el biochar sobre las poblaciones de artrópodos de suelo, esencialmente, sobre las especies del orden *Collembola* y los ácaros. No abundan los trabajos científicos sobre el efecto de este producto sobre las especies de ácaros y *Colémbolos* del suelo, de ahí, la importancia de realizar estudios más profundos sobre las especies de *Colémbola*, que se utilizan como indicadores de salud de los suelos. Por tal motivo, es necesario profundizar para comprender la relación entre las propiedades del biocarbón y la biota del suelo, las interacciones entre estos y los cultivos; evaluar el índice de calidad biológica basado en especies de *Collembola*, frente a diferentes tipos de biocarbones, tamaño de las partículas e influencia de los biocarbones en la morfología y morfometría de estos artrópodos.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al personal técnico del laboratorio de Entomología-Acarología y las investigadoras Adayakni Sánchez Castro y

Lizandra Guerra Arzuaga, por su apoyo en la colecta de las muestras y la atención al experimento. Trabajo desarrollado en el marco del Proyecto “Reciclado de nutrientes y carbón a partir de biomasa para la fertilización orgánica de avanzada en la agricultura eco-inteligente y climáticamente positiva en Cuba (Bio-C)” del Programa Salud Animal y Vegetal y ejecutado por el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) en colaboración con otras instituciones del país.

#### REFERENCIAS

1. Glasener K. Why is Soil Important? [Internet]. Soil Science Society of America; 2004. Available from: <https://www.soils.org/files/science-policy/sss-marketing-2013.pdf>
2. Ruiz N, Lavelle P, Jiménez J. Soil macrofauna. Field manual. 1st ed. Roma: FAO; 2008. 114 p
3. Kartanto A, Rahmadi C, Franklin E, Susilo F, Wellington de Morais J. *Collembola*, acari y otra mesofauna del suelo: el método Berlese. In: Manual de Biología de Suelos Tropicales: Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. [Internet]. Brasil: Instituto Nacional de Ecología; 2011. Available from: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/34653>
4. Uribe-Hernández R, Juárez-Méndez CH, Montes De Oca MA, Palacios-Vargas JG, Cutz-Pool L, Mejía-Recarmier BE. *Colémbolos* (Hexapoda) como bioindicadores de la calidad de suelos. Revista Mexicana de Biodiversidad. 2010; 81(001). DOI: [10.22201/ib.20078706e.2010.001.188](https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.001.188)
5. Socarrás A. Caracterización de la mesofauna edáfica bajo diferentes usos de la tierra en suelo Ferralítico Rojo de Mayabeque y Artemisa. Pastos y Forrajes. 2011;34(2):185-97.
6. Uribe-Hernández R, Juárez-Méndez CH, Montes De Oca MA, Palacios-Vargas JG, Cutz-Pool L, Mejía-Recarmier BE. *Colémbolos* (Hexapoda) como bioindicadores de la calidad de suelos. Revista Mexicana de Biodiversidad. 2010; 81(001). DOI: [10.22201/ib.20078706e.2010.001.188](https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.001.188)
7. Conti FD, Visioli G, Malcevschi A, Menta C. Safety assessment of gasification biochars using *Folsomia candida* (*Collembola*) ecotoxicological bioassays. Environ Sci Pollut Res. 2018; 25(7) :6668-79. DOI: [10.1007/s11356-017-0806-4](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0806-4)
8. Sanchez-Reinoso AD, Ávila-Pedraza EA, Restrepo H. Use of Biochar in agriculture. Acta Biol Colomb. 2020;25(2):327-38. DOI: [10.15446/abc.v25n2.79466](https://doi.org/10.15446/abc.v25n2.79466)
9. Petón Fernández G, Schmidt H, Milera-Rodríguez M de la C, Martín Martín G, Brea Maure O, Brunet Zulueta J, *et al.* Empleo de



- fertilizantes orgánicos basados en biochar, producidos a partir de residuos agropecuarios. *Proy Biocarbono Cuba*. 2021;15(1):1–14. Available from: [https://www.researchgate.net/profile/Reciclaje-De-Nutrientes/publication/356874998\\_Empleo\\_de\\_fertilizantes\\_organicos\\_basados\\_en\\_biochar\\_producidos\\_a\\_partir\\_de\\_residuos\\_agropecuarios/links/61b0daa1956f4552d0b36870/Empleo-de-fertilizantes-organicos-basados-](https://www.researchgate.net/profile/Reciclaje-De-Nutrientes/publication/356874998_Empleo_de_fertilizantes_organicos_basados_en_biochar_producidos_a_partir_de_residuos_agropecuarios/links/61b0daa1956f4552d0b36870/Empleo-de-fertilizantes-organicos-basados-)
10. Maaß S, Huckelheim R, Rillig M. Collembola laterally move biochar particles. *PLoS One*. 2019;14(11):1–7. DOI: [10.1371/journal.pone.0224179](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224179)
  11. Bloom N, Van Reenen J. Human Resource Management and Productivity. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research; 2010 May [cited 2024 Feb 23]. Rapport no w16019. Available from: <http://www.nber.org/papers/w16019.pdf>
  12. Molnár M, Vaszita E, Farkas É, Ujaczki É, Fekete-Kertész I, Tolner M, *et al.* Acidic sandy soil improvement with biochar — A microcosm study. *Science of The Total Environment*. 2016;563–564:855–65. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2016.01.091](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.091)
  13. Reibe K, Götz K-P, Roß C-L, Döring TF, Ellmer F, Ruess L. Impact of quality and quantity of biochar and hydrochar on soil Collembola and growth of spring wheat. *Soil Biology and Biochemistry*. 2015;83:84–7. DOI: [10.1016/j.soilbio.2015.01.014](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.014)
  14. Nietschke L, Burfeindt I, Seupt A, Filser J. Collembola and seed germination: relevance of substrate quality and evidence for seed attack. *Soil Org*. 2012;83(3):451–62.
  15. Gruss I, Twardowski JP, Latawiec A, Królczyk J, Medyńska-Juraszek A. The Effect of Biochar Used as Soil Amendment on Morphological Diversity of Collembola. *Sustainability*. 2019; 11(18):5126. DOI: [10.3390/su11185126](https://doi.org/10.3390/su11185126)
  16. Briones MJI, Panzacchi P, Davies CA, Ineson P. Contrasting responses of macro- and meso-fauna to biochar additions in a bioenergy cropping system. *Soil Biology and Biochemistry*. 2020; 145: 107803. DOI: [10.1016/j.soilbio.2020.107803](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107803)
  17. Godlewska P, Ok YS, Oleszczuk P. THE DARK SIDE OF BLACK GOLD: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 403: 123833. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2020.123833](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123833)

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

**Contribución de los autores:** Heyker L. Baños Díaz: **Conceptualización, Análisis formal, Metodología, Supervisión, Escritura - borrador original, Redacción: revisión y edición.** Lázaro Cuellar Yanes: **Investigación, Metodología, Escritura - borrador original.** Reinaldo Chico Morejón: **Investigación.** Mayra G. Rodríguez: **Adquisición de fondos, Metodología, Administración de Proyecto, Redacción: revisión y edición.**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)