

TENDENCIAS EN EL USO DEL BIOCARBÓN COMO ACONDICIONADOR DE SUELOS

Gloria María Aponte Figueroa*, Beatriz Soledad Rodríguez**

El biocarbón es un producto que se obtiene a partir de diferentes tipos de biomasa tales como la corteza de madera de pino, bambú, residuos orgánicos y vegetales, estiércol humano, estiércol de aves de corral, entre otros. El biocarbón se ha usado de diferentes maneras como mejorador de suelos entre las que se encuentran: mejorar la retención de agua y nutrientes en el suelo, aumentar la productividad de los cultivos, aumentar la calidad del suelo y también actúa como un retenedor del dióxido de carbono en el suelo. Este uso como mejorador de suelos no solo es reconocido desde el punto de investigación o académico, sino que hay mucho interés empresarial en su desarrollo y comercialización lo cual se ve por la tendencia acelerada de investigación y desarrollo de patentes en los últimos diez años. El liderazgo tecnológico está representado por empresas de Estados Unidos y el sector académico por las publicaciones de las universidades en China. El futuro del biocarbón, como acondicionador de suelos, luce prometedor tanto desde el punto de vista empresarial como académico.

Palabras claves: Acondicionador de suelos; Agricultura; Biocarbón; Tendencias

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las prácticas agrícolas influyen en la pérdida gradual de la materia orgánica presente en los suelos y eso las convierte en una fuente importante de emisiones de CO₂. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señala que¹, con la gestión adecuada de la sostenibilidad de los suelos, es posible

Universidad Católica Andrés Bello. Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería. Av. Teherán, Edif. Laboratorios. PB. Zona postal: 1020. Caracas, Venezuela.

* <https://orcid.org/0000-0002-1029-8264>

Email: gapontef@ucab.edu.ve

** <https://orcid.org/0000-0002-0705-674X>

Email: bsoledad@ucab.edu.ve



Biochar is a product that is obtained from different types of biomass such as pine wood bark, bamboo, organic and vegetable waste, human manure, poultry manure, among others. Biochar has been used in different ways as a soil improver among which are: improving the retention of water and nutrients in the soil, increasing the productivity of crops, increasing the quality of the soil and also acting as a sequestrant of carbon dioxide. This use as a soil improver is not only recognized from a research or academic point of view, but there is a lot of business interest in its development and commercialization, which is seen by the accelerated trend of patent research and development in the last ten years. Technology leadership is represented by US companies and the academic sector by Chinese universities publications. The future of biochar, as a soil conditioner, looks promising from both a business and academic point of view.

Keywords: Agriculture; Biochar; Soil Conditioner; Trends

la restauración de las tierras degradadas, así como la mejora de la salud del suelo. La FAO indica que la rehabilitación de los suelos agrícolas y degradados puede eliminar hasta 51 gigatoneladas de carbono de la atmósfera (cifra muy similar al total de emisiones mundiales en el año 2018) aumentando al mismo tiempo la producción de alimentos en 17,6 megatoneladas al año.

Por esta razón, aunque la agricultura emite alrededor de una cuarta parte de los gases de efecto invernadero, casi la mitad de las soluciones de los objetivos climáticos mundiales para reducir el calentamiento global debido a estas emisiones

1. FAO. El trabajo de la FAO sobre el cambio climático. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2019. (Recuperado en mayo 21, 2021)

se apoyan en estrategias relacionadas con el cultivo de la tierra. Estas estrategias se enfocan en el mejoramiento de suelos porque de este modo no solo se consigue reducir las emisiones, sino que también ayudan a satisfacer las necesidades alimenticias de una población en crecimiento.

Por este motivo, además de las acciones que se realicen para reducir el dióxido de carbono de la atmósfera, es necesario una mejora en el uso de la tierra. Una de las opciones es mediante el uso de biocarbón. En este texto se muestran las principales tendencias relacionadas al uso del biocarbón como mejorador de suelos. Se presentan los principales procesos para producir biocarbón, las principales tendencias de su uso como mejorador de suelos, así como las perspectivas futuras y reflexiones finales.

PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL BIOCARBÓN

La producción de biocarbón se lleva a cabo mediante un proceso de conversión termoquímica (pirólisis) de la biomasa a temperaturas por encima de 200°C en ausencia parcial o total de oxígeno². Los procesos de conversión termoquímica más comúnmente utilizados para procesar la biomasa y obtener biocarbón se pueden clasificar en procesos convencionales como la pirólisis lenta y la rápida, y tecnologías más avanzadas como la gasificación, la conversión hidrotérmica, la torrefacción, y la electro-modificación en conjunto con métodos tradicionales modificados como la pirólisis flash, pirólisis al vacío y pirólisis por microondas³.

Tanto la pirólisis rápida como la lenta dependen del tiempo de residencia en el reactor y la velocidad de calentamiento. En el proceso de pirólisis rápida, el biocarbón es producido a temperaturas mayores a 600 °C con un tiempo de residencia muy corto (1s) y se caracteriza por un alto rendimiento en la producción de bioaceite y una producción aproximada de biocarbón de 17%⁴ (biocarbón obtenido con respecto a la biomasa inicial). La pirólisis lenta, que en lugar de ocurrir en segundos, se produce en horas, también conocida como carbonización convencional, produce más gas de síntesis (es decir CO + H₂) con un mayor rendimiento de biocarbón de alrededor de 36%. El otro proceso para producir biocarbón es la gasificación, donde se convierte la biomasa

a gas de síntesis con una cantidad limitada de oxígeno y a altas temperaturas (≥700 °C). En la gasificación se consigue un aumento de la porosidad y el área de superficie del biocarbón⁵. El producto que puede ser obtenido como resultado de la pirólisis de la biomasa está influenciado por las condiciones del proceso, tales como la temperatura y el tiempo de residencia. Experimentos de pirólisis llevados a cabo entre 300°C y 600°C, utilizando diferentes tipos de biomasa (cáscara de arroz, corteza de madera, tallos de remolacha azucarera, racimos de frutas vacíos, estiércol de lechería, madera de pino, astillas de madera, residuos orgánicos y vegetales, estiércol humano, estiércol de aves de corral), muestran que el biocarbón obtenido presenta contenidos variables de carbono (49 a 93%), hidrógeno (de 3,65 a 3,68%) y oxígeno (entre 8 y 11%) que dependen de la temperatura mínima y máxima del proceso⁵.

La torrefacción, otro proceso para producir biocarbón, tiene como propósito mejorar la biomasa y producir combustibles sólidos con una mejor calidad. Para cumplir con este objetivo, la biomasa se procesa en condiciones secas o húmedas en la unidad de torrefacción. El proceso de torrefacción en condiciones secas se puede llevar a cabo en atmósferas no oxidativas (inerte) o en oxidativas, a temperaturas entre 200-300°C. En la torrefacción húmeda, por otro lado, la biomasa es mejorada con agua y soluciones ácidas diluidas, a temperaturas entre 180-300°C. Las principales mejoras obtenidas de este proceso en las propiedades de la biomasa son: aumento del poder calorífico debido a una reducción en la relación oxígeno/carbono, transformación higroscópica e hidrofóbica de la biomasa y molienda más sencilla debido a la reducción de tamaño del combustible sólido. Gracias a este proceso se pueden obtener combustibles sólidos de alta calidad a partir de recursos de biomasa húmeda de bajo costo, tales como residuos forestales, desechos agrícolas, cultivos energéticos acuáticos y lodos de desechos⁶. Adicionalmente a los métodos mencionados, la biomasa se puede tratar con vapor para mejorar sus propiedades⁷. Si bien el proceso de torrefacción húmeda tiene como objetivo producir combustibles sólidos mejorados con fines energéticos, es posible usar una variante, el proceso de hidroconversión térmica (tratamiento de la biomasa en medio hidrotérmico con agua sobrecalentada) para producir carbón vegetal, con mucho más contenido de carbono, que se puede utilizar no solo como combustible sino también como carbón activado,

- Galindo-Segura, L.; Pérez, A.; Landeros, C.; Gómez-Merino, F. *Bibliometric analysis of scientific research on biochar*. *Agrop.* **2021**, *14*(2):15-21.
- Jagdish, G.W.; Vivek, P. B.; Pravin, D. P.; Sneha, T.B. & Sachin, K. *Recent trends in biochar production methods and its application as a soil health conditioner: a review*. *SN Applied Sciences*. **2020**, *2*, 1307.
- Uchimiyi, M., Wartelle, L.H., Klasson, K.T., Fortier, C.A. y Lima, M. *Influence of pyrolysis temperature on biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil*. *J. Agric. Food Chem.* **2011**, *59* 2501–2510.

- Babalola, O., Olubukola, O., Obembe, O. *Significance of biochar application to the environment and economy*. *Annals of Agriculture Sciences*. **2019**, *64*, 222-236.
- Quang-Vu, B., Khanh-Quang, T., Øyvind, S., Roger, K. y Anh, P. *Effects of wet torrefaction on reactivity and kinetics of wood under air combustion conditions*. *Fuel*. **2014**, *137*, (1) 375–383.
- Wei-Hsin, C., Bo-Jhih, L., Yu-Ying, L., Yen-Shih, C., Aristotle, U., Pau, L., Hwai, C., Jo-Shu, C.; Shih-Hsin, H., Alvin, C., Anélie, P. y Mathieu, P. *Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges*. *Progress in Energy and Combustion Science* **2021**, *82*, 100887.

potenciador del suelo, fertilizante, etc. La torrefacción húmeda tiende a operarse a temperaturas más bajas (180-260°C) que las usadas en la hidroconversión térmica (desde 300°C)⁶

La producción de biocarbón mediante calentamiento por microondas es una técnica avanzada muy relevante. El calentamiento por microondas presenta ventajas cuando se compara con el calentamiento convencional ya que el microondas genera energía térmica a través del calentamiento dieléctrico, y la energía se introduce en el reactor de forma remota sin hacer contacto entre la fuente de energía y la mezcla de reacción.³ Es un proceso de mucho interés en el campo académico e industrial ya que presenta características térmicas muy destacadas como un calentamiento más rápido, uniforme y selectivo que el convencional, mientras que la temperatura de sinterización es más baja lo cual mejora la gasificación del vapor. Este proceso, comparado con la pirólisis convencional, reduce los requerimientos de temperatura en 200°C mientras que los resultados son muy similares⁸. En trabajos experimentales con fibras de la palma de aceite⁹ se ha reportado que para obtener la máxima producción de biocarbón y de hidrógeno por este método se requieren temperaturas de 400°C, una potencia de 400 watts y un tiempo de residencia entre 4 a 6 minutos. La producción máxima de hidrógeno requirió una temperatura mayor.

Otro proceso para producir biocarbón es el de la electromodificación, lo cual da lugar a biocarbón electro modificado. Este se lleva a cabo mediante tratamiento químico, donde se mezcla el biocarbón con hierro, magnesio o aluminio en presencia de una corriente eléctrica por un tiempo entre 2 y 12 horas para alterar los grupos funcionales sobre la superficie de los poros y en última instancia mejorar la adsorción específica del biocarbón^{10, 11, 12}. Con estos procesos es posible preparar biocarbón magnético, a partir de la adición de iones de hierro sobre la superficie de un biocarbón con la ayuda de un agente de enlace (como gelatina, u otras sustancias). El biocarbón magnético resultante muestra una alta capacidad de adsorción de contaminantes y tiene una ventaja importante: es fácilmente recuperable del agua o del suelo contaminado donde ha sido utilizado³ y luego es reutilizable.

BIOCARBÓN COMO ACONDICIONADOR DE SUELOS

Una tecnología emergente y con potencial prometedor para almacenar carbono a largo plazo, así como para mejorar la calidad del suelo es la aplicación de biocarbón en suelos agrícolas. Varios países a nivel mundial tienen una larga historia de uso de biocarbón en suelos con fines sostenibles. El biocarbón ha sido producido por la humanidad desde hace muchos siglos y los suelos donde se ha usado aún permanecen fértiles.

El biocarbón tiene el potencial de absorber un amplio rango de moléculas orgánicas e inorgánicas y se ha reportado (como se observa en la **Tabla 1**) que puede mejorar los nutrientes del suelo y la actividad biológica. Por esta razón se le usa en la restauración ecológica del suelo lo que también contribuye a eliminar eficazmente el dióxido de carbono de la atmósfera. Es importante destacar que como es producido a partir de diferentes residuos vegetales provenientes de la agricultura, bosques y ciudades, puede ayudar a combatir los efectos del cambio climático global, mejorar la gestión de nutrientes en sistemas agrícolas y ser un proveedor directo de nutrientes para el reciclaje sostenible de materiales de desecho.

Constantemente se está generando un gran volumen de desperdicio de materia orgánica debido al aumento en la producción agrícola, a la producción de alimentos procesados para el consumo humano y el tratamiento de las aguas residuales; estos desperdicios pueden ser aprovechados posteriormente en forma de biocarbón por su capacidad remediadora (recuperando su calidad) y mejoradora (incorporando nutrientes) del suelo, al igual que el compost. El uso de biocarbón en conjunto con los desperdicios orgánicos en forma de compost también puede cambiar las propiedades fisicoquímicas, el tipo de microorganismos, la capacidad de degradación y humidificación, y la emisión de gases del suelo, así como generar un incremento en los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica y actividades microbianas. Estos cambios podrían mejorar la eficiencia del biocarbón para la recuperación y mejoramiento de los suelos¹³.

Debido a que el biocarbón tiene un alto volumen de poros, tiene una alta capacidad de adsorción y por eso se aplica como remediador de suelos agrícolas, corrigiendo

8. Liu, S., Xie, Q., Zhang, B., Cheng, Y., Liu, Y., Chen, P., Ruan, R. *Fast microwave-assisted catalytic co-pyrolysis of corn stover and scum for bio-oil production with CaO and HZSM-5 as the catalyst. *Bioresources Technology*. 2016. 204,164–170.*
9. Arafat H. M.; Ganesan P, Jewaratnam J, Chinna K. *Optimization of process parameters for microwave pyrolysis of oil palm fiber (OPF) for hydrogen and biochar production. *Energy Conversion and Management*. 2017. 133 (1), 349–362.*
10. Jung K-W, Hwang M-J, Jeong T-U, Ahn K-H. *A novel approach for preparation of modified-biochar derived from marine macroalgae: dual purpose electro-modification for improvement of surface area and metal impregnation. *Bioresour Technol*. 2015, 191, 342–345.*
11. Fang C, Zhang T, Li P, Jiang R, Wang Y. *Application of magnesium modified corn biochar for phosphorus removal and recovery from swine wastewater. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2014, 11 (9),*

- 217–9237.
12. Hu X, Ding Z, Zimmerman AR, Wang S, Gao B. *Batch and column sorption of arsenic onto iron-impregnated biochar synthesized through hydrolysis. *Water Research*. 2015. 68 (1), 206–216.*
13. Wu, H., Lai, C., Zeng, G., Liang, J., Chen, J., Xu, J., Dai, J., Li, X., Liu, J., Chen, M., Lu, L., Hu, L y Wan, J. *The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review. *Critical Reviews In Biotechnology*. 2017, 37(6),754–764.*

el daño presente en los suelos como por ejemplo la falta de nutrientes, contaminación microbiana, entre otros. Por esta razón, se ha estado empleando en diversas investigaciones para evaluar el crecimiento de diferentes cultivos. En la mayoría de las aplicaciones, la productividad de los cultivos aumentó significativamente después de que los suelos agrícolas se modificaron con biocarbón. Es importante destacar que, además de remediar la calidad del suelo, el biocarbón también puede retener el carbono en forma de CO₂ y metano dentro de este¹⁴.

Con relación a la presencia de antibióticos en los agroecosistemas y los problemas presentados por la proliferación de bacterias resistentes a los antibióticos y sus efectos adversos para la salud, se ha encontrado que el mejoramiento del suelo con biocarbón pirolizado de estiércol puede ser una estrategia beneficiosa para el manejo novedoso del estiércol y la eliminación de los residuos de antibióticos provenientes de las heces de los animales tratados por diferentes patologías.

En la **Tabla 1**, se presentan algunas investigaciones realizadas en años recientes con relación al uso de biocarbón

como acondicionador de suelos. Como se muestra en esa tabla, el biocarbón se ha empleado para mejorar el suelo y así incrementar la producción de diversos cultivos tales como maíz dulce, col, alfalfa, yuca y árboles en su etapa de crecimiento, encontrándose en la mayoría de los casos una mejora en el crecimiento de los cultivos debido a la mejora de la fertilidad de los suelos, el aumento de la capacidad de intercambio catiónico y la retención de nutrientes. Por otra parte, su incorporación a suelos contaminados con organismos patógenos logró restaurar la diversidad microbiana de los mismos.

El biocarbón, tal como puede verse en la **Tabla 1**, está siendo utilizado como un mejorador del suelo con un efecto significativo sobre su fertilidad debido a la alteración de las características químicas, biológicas y físicas del mismo. En general, el uso de biocarbón como acondicionador de suelos mejora su calidad y favorece un mayor rendimiento de los cultivos. Sin embargo, no debe olvidarse que la efectividad del biocarbón depende del tipo de madera de donde es obtenido, el proceso de producción, el tipo y condición del suelo, así como el tipo de cultivo a plantar⁵.

Tabla 1. Diferentes ejemplos de aplicación del biocarbón como acondicionador de suelos

MATERIAL ADICIONADO PARA LA MEJORA	TIPO DE SUELO/ CULTIVO DE ESTUDIO	PARÁMETROS MEJORADOS POR LA ADICIÓN Y PRINCIPALES RESULTADOS	REF.
Carbón vegetal	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	Se evaluó el efecto en la producción forrajera de alfalfa obteniéndose los mejores resultados cuando aplicó carbón vegetal.	15
Biocarbón y bacterias fijadoras de nitrógeno <i>Stenotrophomonas</i> sp. (Sb16)	Poblaciones microbianas en suelo, enzimas, composición mineral y crecimiento del maíz dulce	La aplicación de biocarbón sin inoculación y con la bacteria Sb16, aumentó significativamente la población de bacterias en el suelo, hongos, actinomicetos y bacterias fijadoras de nitrógeno, enzimas (ureasa, fosfatasa ácida) y actividad de hidrólisis de diacetato de fluoresceína y propiedades químicas del suelo (pH, carbono, nitrógeno total, fósforo disponible y potasio, calcio y magnesio intercambiables)	16
Mezcla de compostaje de biocarbón con y sin fertilizante NPK estándar	Recuperación del suelo para el crecimiento de col	Ninguno de los tratamientos con biocarbón o compost aumentaron el rendimiento en comparación con el control no enmendado y los tratamientos que incluían el fertilizante NPK estándar dieron como resultado los rendimientos más altos	17
Biocarbón	Mejorar el rendimiento del maíz, tratando los suelos	La modificación de los fertilizantes químicos con mejoras orgánicas se puede utilizar para mejorar la fijación de fósforo en suelos ácidos para aumentar la producción de maíz en este tipo de suelos.	18
Biocarbón	Productividad de la yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) en las tierras degradadas	Las mejoras optimizaron la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos.	19

14. Ahmed, J. y Raghavan, V. Biochar influences on agricultural soils, crop production, and the environment: A review. *Environ. Rev.* **2016**, *24* (4), 495–502

15. Fiallos-Ortega, L., Flores-Mancheno, L., Duchi-Duchi, N., Flores-Mancheno, C., Baño-Ayala, D., Estrada-Orozco, L. Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de *Medicago sativa*. *Rev. Cien. Agri.* **2015**, *12* (2), 13-20.

16. Abdulrahman, D., Othman, R., Saud, H y Abu Bakr, R. Effects of biochar and *Stenotrophomonas maltophilia* (SB16) on soil properties and growth of sweet corn. *J. Agric. Res.*, **2017**, *55*(3),485-499. (Recuperado en mayo 20, 2021).

17. McDonald, M., Bakker, C y Motior, M. Evaluation of wood biochar and compost soil amendment on cabbage yield and quality. *Can. J. Plant Sci.* **2019**, *99* (5),624–638

18. Huck Ywih Ch'ng, Osumanu Haruna Ahmed, Nik Muhammad Ab. Majid & Mohamadu Boyie Jalloh. Reducing Soil Phosphorus Fixation to Improve Yield of Maize on a Tropical Acid Soil Using Compost and Biochar Derived from Agro-Industrial Wastes, *Compost Science & Utilization*. **2017**, *25*(2), 82-94.

19. Islami, T., Guritno, B., Basuki, N y Suryanto, A. Biochar for sustaining productivity of cassava based cropping systems in the degraded lands of East Java, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture*. **2011**, *49* (1-2), 40-46.

Sepiolita y biocarbón	Microbiota en suelo rojo ácido modificado con cadmio y atrazina	La adición de sepiolita y biocarbón promovió la restauración de la diversidad de la comunidad microbiana en suelos contaminados	20
Biocarbón	Sorción de lincomicina en suelos	Los biocarbones derivados del estiércol tenían una capacidad duradera de retención de lincomicina, lo que implica que la mejora del suelo con biocarbón podría afectar significativamente la distribución, el transporte y la biodisponibilidad de la lincomicina en los agroecosistemas.	21
Biocarbón	Almacenamiento de carbono y nitrógeno del suelo	Las enmiendas de biocarbón a los sistemas de cultivo pueden mejorar la capacidad del suelo para retener nutrientes y almacenar carbono y nitrógeno.	22
Materia prima de paja de maíz (<i>Zea mays</i> L.) y biocarbón	Suelo franco arenoso	En comparación con la enmienda con paja, los niveles más altos de biocarbón aumentaron significativamente el pH del suelo, el carbono orgánico del suelo, el nitrógeno total, el fósforo disponible y el potasio disponible	23
Biocarbón	Adsorción de un suelo arenoso	Las remediaciones de biocarbón fueron efectivas para reducir la lixiviación de <i>E. coli</i> a través del perfil del suelo y proporcionando un lixiviado libre de coliformes fecales. Este estudio muestra que el biocarbón puede jugar un papel importante en la mejora de la calidad del agua de drenaje y en abordar las preocupaciones por la lixiviación de patógenos como resultado del uso de estiércol de aves de corral en tierras agrícolas.	24
Biocarbón, biosólidos, astillas de madera, compost, té de compost aireado y un fertilizante de nitrógeno más potasio	Tres suelos urbanos y el crecimiento de árboles jóvenes	El biocarbón y el biosólido son alternativas aceptables para mejorar la calidad del suelo urbano y el crecimiento de los árboles	25
Biocarbón	Biocarbón sin suelo	Para una liberación máxima de fósforo, se necesitan concentraciones bajas de calcio en el biocarbón y/o un pH <7.5 en la interfaz suelo-biocarbón.	26
Biocarbón	Compostaje	La superficie de los biocarbón disminuyó durante el proceso de compostaje debido a la obstrucción de los microporos por los materiales derivados de los compost absorbidos. Las interacciones con el sustrato de compostaje mejoran las cargas de nutrientes, pero alteran las propiedades superficiales de los biocarbón	27

LOS ACTORES MUNDIALES EN LA INVESTIGACIÓN DEL BIOCARBÓN

El gran número de estudios académicos relacionados con el biocarbón no deja lugar a dudas del interés que despierta el uso del biocarbón para la mejora de suelos, especialmente en los últimos años, tal como se muestra en la **Figura 1a**. Una simple revisión de los países donde más información se publica al respecto muestra que las investigaciones son llevadas a cabo principalmente en China (**Figura 2a**) seguido de Estados Unidos. Entre las principales instituciones que realizan publicaciones en el área destaca la Academia de Ciencias de China, la *Nanjing Agricultural University* y la

Zhejiang University. La mayor parte de las publicaciones están enfocadas en las áreas de agronomía, así como en los aspectos químicos y ambientales del biocarbón.

Estas tendencias también se observan en las patentes de invención a nivel mundial relacionadas con el biocarbón. En la **Figura 1b** se muestra el incremento anual en el número de patentes relacionadas con este tema. Puede verse un incremento sostenido en el número de patentes hasta 2019. El dato de 2020 podría estar relacionado con los efectos disruptores de la pandemia de Covid 19 en la investigación en empresas. Los principales países que realizan investigación en esta área son también China y Estados Unidos, con el 80% de las patentes publicadas en el área (ver **Figura. 2b**).

20. Xu Qin, Qingqing Huang, Yiyun Liu, Lijie Zhao, Yingming Xu & Yetong Liu. *Effects of sepiolite and biochar on microbial diversity in acid red soil from southern China. Chemistry and Ecology. 2019. 35(9),846-860.*
21. Liu, C. H., Chuang, Y. H., Li, H., Teppen, B. J., Boyd, S. A., Gonzalez, J. M., Johnston, C. T., Lehmann, J., & Zhang, W. *Sorption of Lincomycin by Manure-Derived Biochars from Water. Journal of environmental quality. 2016. 45(2),519-527.*
22. Clark, M, Hastings, M y Ryals, R. *Soil Carbon and Nitrogen Dynamics in Two Agricultural Soils Amended with Manure-Derived Biochar. Journal of Environmental Quality. 2019. 48 (3), 727-734.*
23. Li, M., Wang, Y., Liu, M., Liu, Q., Xie, Z., Li, Z., Uchimiya, M y Chen, Y. *Three-Year Field Observation of Biochar-Mediated Changes in Soil Organic Carbon and Microbial Activity. Journal of Environmental Quality. 2019, 48(3), 717-726.*

24. Ismail, A., Prasher, S., Chénier, M y Patel, R. *Evaluation of Biochar Soil Amendments in Reducing Soil and Water Pollution from Total and Fecal Coliforms in Poultry Manure. Canadian Biosystems Engineering. 2016, 58 (1),1.21-1.31.*
25. Scharenbroch, B., Meza, E., Catania, M y Fite, K. *Biochar and Biosolids Increase Tree Growth and Improve Soil Quality for Urban Landscapes. Journal of Environmental Quality. 2013. 42 (5), 1372-1385.*
26. Buss, W., Assavavittayanon, K., Shepherd, J., Heal, K y Soh, S. *Biochar Phosphorus Release Is Limited by High pH and Excess Calcium. Journal of Environmental Quality. 2018, 47 (5), 1298-1303.*
27. Prost, K., Borchard, N., Siemens, J., Kautz, T., Séquaris, J-M, Möller, A y Amelung, W. *Biochar Affected by Composting with Farmyard Manure. Journal of Environmental Quality. 2013. 42 (1),164-172.*

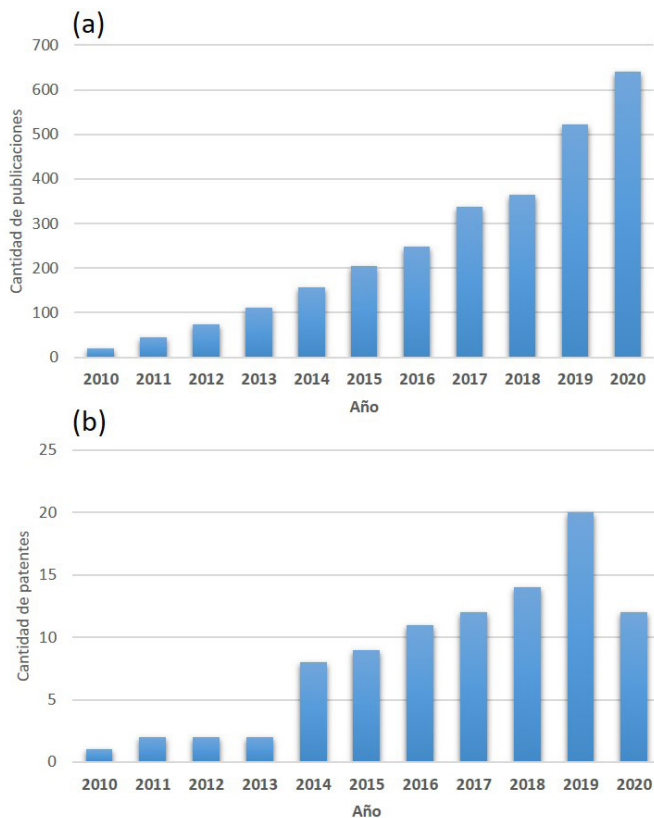


Figura 1. Evolución reciente de las publicaciones y patentes en el área del biocarbón como mejorador de suelos. **(a)** Tendencia de las publicaciones científicas **(b)** evolución de las patentes. Datos obtenidos de la base de datos Lens.org. Con el fin de que los datos sean reproducibles, se muestran los patrones de búsqueda. Para publicaciones se usó el código: (Biochar OR “bio-char”)/TI AND (amendment OR condition* OR remediati* OR regenerat* OR restor*)/TI, AB, CLMS AND)/TI, AB, CLMS. El patrón de búsqueda para patentes fue: (Biochar OR “bio-char”)/TI AND (amendment OR condition* OR remediati* OR regenerat* OR restor*)/TI, AB, CLMS AND)/TI, AB, CLMS.

En el caso de China, se observa un gran interés en el uso del biocarbón como acondicionador del suelo y existen varias iniciativas de investigación con la finalidad de conocer y crear consciencia de su uso, ya que la productividad de sus suelos y de los cultivos agrícolas se ha visto muy afectada por los cultivos modificados genéticamente para producir alimentos orgánicos²⁸.

En cuanto a las principales áreas de investigación y desarrollo ambos países coinciden en patentar el uso de biocarbón en mezclas de fertilizantes con aditivos para diferentes fines (entre ellos como acondicionador y mejorador de suelo). Esa área es la mayoritaria en Estados Unidos. Sin embargo, en China se han centrado también en la

28. Grand View Research. *Biochar Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology (Gasification, Pyrolysis), By Application (Agriculture (Farming, Livestock)), By Region, And*

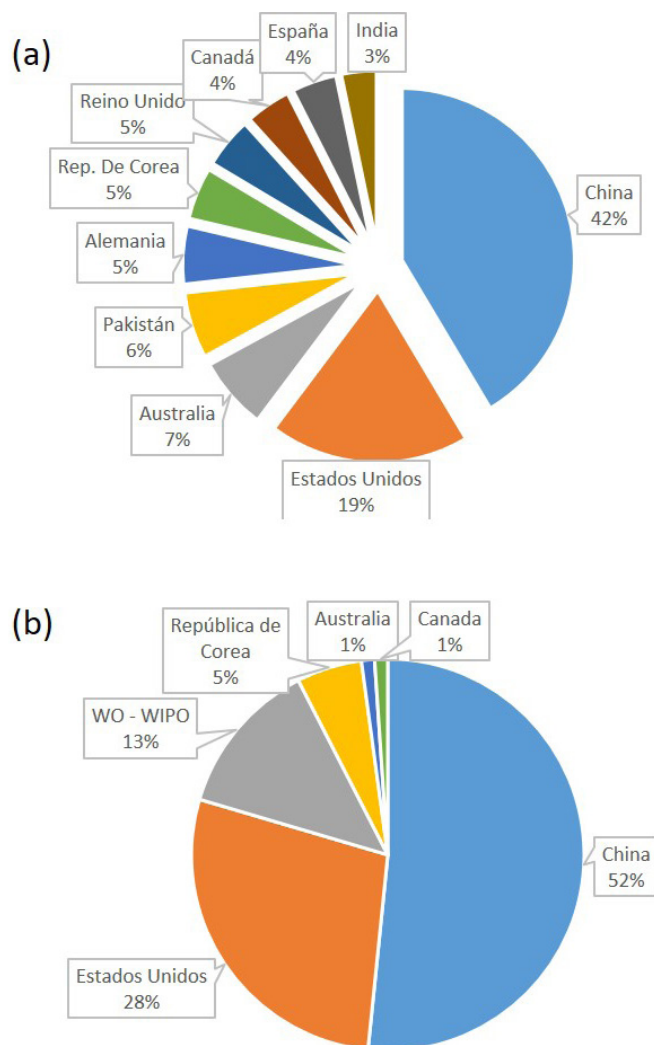


Figura 2. Principales países involucrados en la investigación del biocarbón. **(a)** Distribución de publicaciones por países y **(b)** distribución de patentes. Elaborado a partir de la base de datos Lens.org usando el patrón de búsqueda mencionado en la **Figura 1**.

regeneración de suelos contaminados mediante el uso de procedimientos químicos y microbiológicos así como en el uso de biocarbón con otras sustancias para acondicionar o estabilizar los suelos para uso agrícola.

Una de las patentes más relevantes, representada por la patente más citada (**Figura. 3**), está relacionada con la producción de biocarbón a partir de pirólisis de biomasa para su uso como mejorador de suelos. Las patentes que la citan protegen tecnologías relacionadas con procesos para producir biofertilizantes o biocarbón mejorado para muchos fines, pero principalmente para mejorar suelos²⁹.

29. Shearer, D. & Gaunt, J. 2017. (Full Circle Biochar Inc.) *Biochar compositions and methods of use thereof.* US Patent 9725371-B2. 2017-08-08. Segment Forecasts, 2019–2025. (Recuperado en abril, 22 2021).

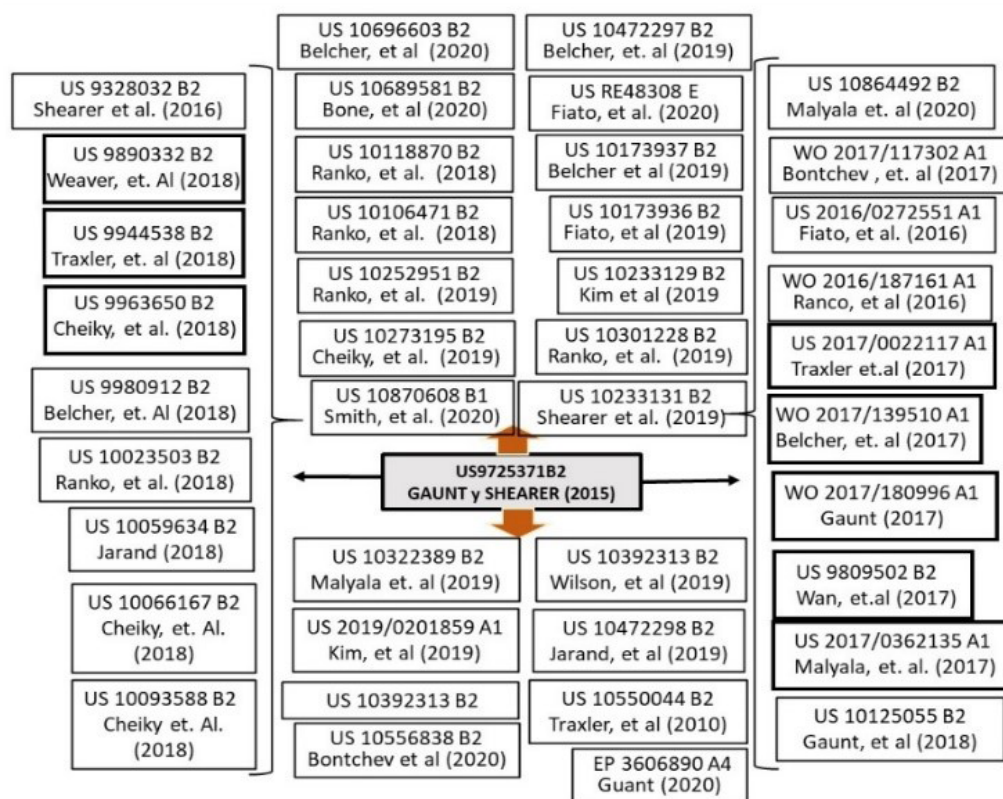


Figura 3. Patente más citada
Fuente: Elaborado por las autoras de los datos obtenidos de la base de datos Lens.org.

De acuerdo a los datos obtenidos de la base de datos Lens.org, la empresa líder en las actividades de investigación es la Cool Planet Energy Systems, Inc., seguida por la empresa Full Circle Biochar, Inc., ambas empresas de Estados Unidos mientras que el liderazgo en publicación de patentes en China es de la *Shenyang Agricultural University*.

Las tendencias tanto de las patentes como de las publicaciones relacionadas con el biocarbón como acondicionador de suelos reflejan gran interés de la comunidad científica en aprovechar el uso de este material para mejorar las propiedades de los suelos y aumentar el rendimiento de los cultivos. Es de especial relevancia que los principales productores de conocimiento en el área son precisamente las dos economías más grandes del mundo.

REFLEXIONES FINALES

Las características del biocarbón obtenido por los diferentes procesos tanto los de conversión térmica convencional (pirólisis lenta y rápida) como los procesos mejorados más modernos (gasificación, torrefacción, calentamiento por microondas y el de biocarbón electro-modificado, entre otros) están muy asociadas a las condiciones de operación de cada proceso (temperatura, tiempo de residencia en el reactor, velocidad de calentamiento, tipo

de biomasa a procesar, entre otras). Sin embargo, además de las condiciones de operación, también es necesario considerar el rendimiento del proceso con la finalidad de que el producto principal sea el biocarbón. Por otra parte, también es muy importante hacer un seguimiento las características del biocarbón obtenido de cada proceso con el objetivo de que éste presente las características óptimas para ser utilizado como acondicionador de suelos, de tal manera que al ser incorporado a estos mejore su estructura física, particularmente la porosidad, capacidad de retención y adsorción de agua y de oxígeno con el fin de mejorar la absorción de nutrientes por parte del suelo.

El uso del biocarbón como acondicionador de las propiedades del suelo ha mostrado un efecto significativo sobre su fertilidad ya que altera sus propiedades químicas, biológicas y físicas; sin embargo, esta efectividad está asociada al tipo de madera utilizada para obtener el biocarbón, las condiciones del proceso de obtención del biocarbón, y el tipo y condición inicial del suelo, así como el tipo de cultivo a plantar. Las diversas investigaciones publicadas son un indicador del potencial que presenta el biocarbón como acondicionador de los suelos. En la mayoría de las aplicaciones, la productividad de los cultivos aumenta significativamente después de que los suelos agrícolas se modifican con biocarbón. Sin embargo, los efectos a largo plazo de la modificación de los suelos agrícolas con biocarbón son difíciles de predecir, porque los

mecanismos detrás del aumento en la productividad de los suelos modificados con biocarbón aún no se han entendido completamente y existe la posibilidad de que pudieran producirse efectos perjudiciales a largo plazo en el suelo y el medio ambiente si se aplica biocarbón al azar.

Las principales tendencias en cuanto a las tecnologías protegidas mediante patentes indican que el uso del biocarbón como mejorador de suelos presenta una tendencia creciente acelerada en los últimos diez años, lo cual refleja el interés que tienen las empresas, universidades y centros de investigación en desarrollar tecnologías en esta área y el interés que tienen en su potencial de comercialización. El liderazgo tecnológico está representado por empresas de Estados Unidos; mientras que, en el caso de China, la Shenyang Agricultural University es la que presenta la mayor cantidad de patentes relacionadas con la preparación de acondicionadores de suelos a base de biocarbón, con el fin de reducir el contenido de sal, mejorar la estructura del suelo, retención de agua y fertilizantes. En cuanto a las publicaciones se observa un liderazgo por las universidades y autores chinos.

El futuro del biocarbón como acondicionador de suelos luce prometedor por lo que es de mucho interés continuar con proyectos de investigación que analicen el efecto del uso de diferentes tipos de biocarbón en diversos tipos de cultivos para tener una amplia gama de resultados y opciones para su aplicabilidad.

Recibido: 20 de agosto de 2021

Aceptado en forma final: 23 de noviembre de 2021

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES DE INTERÉS

Abrol, V. y Sharma, P.: *“Biochar: An Imperative Amendment for Soil and the Environment”*. IntechOpen, 2019.

Singh, J.S. y Singh, C.: *“Biochar Applications in Agriculture and Environment Management”*. Springer Nature Switzerland AG, 2020.

Oaks, R.: *“Making Charcoal and Biochar: A comprehensive guide”*. The Crowood Press Ltd. Ramsbury, 2018.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Aponte Figueroa, G.M., Soledad Rodríguez, B.: Tendencias en el uso del biocarbón como acondicionador de suelos *Revista de Química*, 2021, 35(2) 44-51. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/24110>