

# GUÍA DEL BIOCHAR PARA USOS AGRÍCOLAS

Ideas prácticas para aplicar el biochar en cultivos anuales y perennes



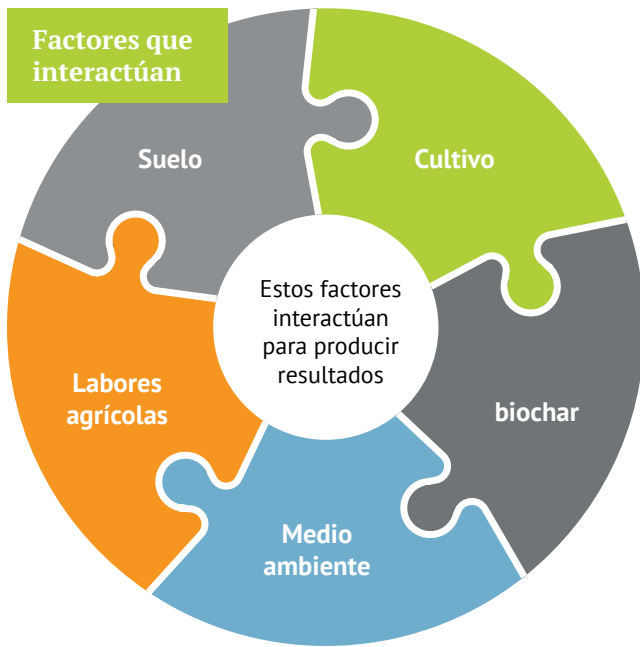
Imagen de Britt Fassum



Imagen de David Laird

## Un aditivo sostenible para suelos, el cual:<sup>1-4</sup>

- aumenta el carbono orgánico y la salud del suelo
- aumenta el rendimiento de los cultivos y favorece la retención de humedad en el suelo
- mejora la retención de nutrientes
- potencia la actividad microbiana
- mitiga la compactación
- reduce la acidez del suelo
- captura carbono



de utilizarlo. En ocasiones, el mejor biochar puede estar a mucha distancia, haciéndolo bastante costoso. La calidad y la disponibilidad del biochar son factores importantes a tener en cuenta en la decisión de utilizarlo. Los agricultores deben consultar con un profesional agrícola o con su oficina de extensión local para obtener ayuda en la selección y aplicación del biochar.

Los mejores resultados se producen cuando se aplica el biochar adecuado en la proporción adecuada para abordar un problema de recursos identificado. Las condiciones de la biomasa y la pirólisis influyen en las propiedades físicas y químicas del biochar final.<sup>6</sup>

Las preocupaciones sobre los recursos o los factores limitantes que el biochar podría ayudar a solucionar incluyen la compactación del suelo, retención de agua, eficiencia del uso de nutriente (EUN), los niveles de materia orgánica del suelo y el pH. Otros objetivos podrían ser captar carbono,<sup>7</sup> o en general mejorar la salud del suelo.

## SIGA LAS 4C

La aplicación de biochar a los suelos requiere una estrategia similar a la de las 4C en la administración de nutrientes: fuente correcta, lugar correcto, proporción correcta y momento correcto.<sup>5</sup> Cuando el biochar se utiliza de forma correcta, puede ayudar a los agricultores a alcanzar la máxima productividad de los cultivos y mejorar la salud del suelo, mientras se minimiza el impacto medioambiental.

Las propiedades físicas y químicas del biochar difieren según la materia prima original y las condiciones de producción. Utilizar las 4C mejora la eficacia del uso de biochar en el suelo.

### Fuente correcta

#### Elegir el mejor biochar para su cultivo

La mejor fuente de material para elaborar biochar es local, disponible y es aquella que, de otro modo, sería un producto desechable (sostenible). Dependiendo de dónde esté ubicada, algunas materias primas para producir biochar incluyen los desperdicios de aves de corral, estiércol, pasto seco, cáscaras de arroz, rastrojo de maíz, restos de la poda de árboles, cáscaras de coco, astillas de madera, paja, bagazo de caña de azúcar, etc.

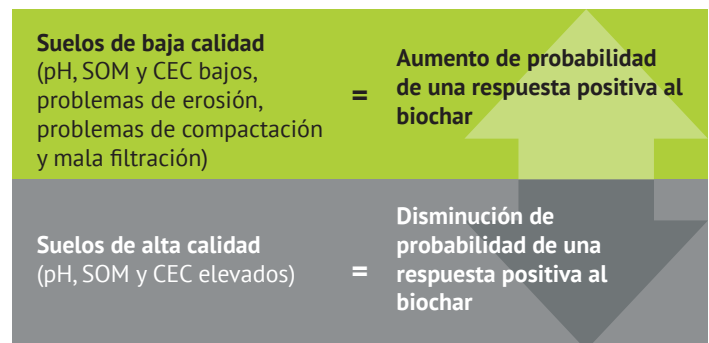
El biochar también se produce a partir de biosólidos, residuos de la construcción y otros materiales que pueden suponer un riesgo de contaminación cuando se aplican a los suelos. Para seleccionar el biochar ideal, conozca la materia prima original y también analice el biochar antes

### Lugar correcto

#### Aplicar biochar a los suelos que lo necesitan<sup>8</sup>

A medida que ha aumentado la oferta nacional, el costo del biochar ha disminuido (\$350 dólares/tonelada en promedio), y los créditos de carbono pueden hacerlo más accesible. No todos los suelos y cultivos verán un beneficio en el rendimiento gracias al uso de biochar, por lo que es esencial saber cuáles generaran con mayor probabilidad una respuesta positiva en el rendimiento de los cultivos. Los mapas de suelos pueden ayudar a identificar los suelos que potencialmente podrían beneficiarse al máximo de las aplicaciones de biochar.

En aplicaciones hortícolas, el biochar puede sustituir a los materiales no renovables para macetas, como la turba, vermiculita y perlita.<sup>9</sup> El biochar también puede ser un componente clave en muchas prácticas diferentes de conservación o estrategias de gestión. Por ejemplo, si se instala un borde de terreno o una canalización para drenaje



SOM (soil organic matter) = materia orgánica del suelo, CEC (cation exchange capacity) = capacidad de intercambio catiónico

con césped, el biochar puede mejorar las condiciones del suelo y ayudar al establecimiento de la vegetación y el crecimiento de las plantas.

## Proporción correcta

### Aplicar la cantidad correcta

No existe una respuesta única respecto a la cantidad de biochar que debe aplicarse. Las dosis de aplicación son específicas para cada lugar y deben determinarse para corregir o mejorar una deficiencia de la producción o un problema de recursos. Los suelos varían en cuanto a sus deficiencias y necesidades, y las dosis de aplicación se determinan campo por campo para abordar una problemática específica.

Las tasas de aplicación en campo de entre 2.47-24.71 toneladas/hectárea han mostrado efectos positivos consistentes en numerosos estudios.<sup>3</sup> Un buen punto de partida para las aplicaciones en campo es 2.47 ton/ha o 7.55 m<sup>3</sup>/ha como proporción efectiva más baja para mejorar el hábitat de los organismos del suelo, y 7.41 ton/ha o 22.67 m<sup>3</sup>/ha para mejorar los niveles de materia orgánica del suelo. Para la producción en contenedores u hoyos de plantación, un 5-25% en volumen mantiene un buen rendimiento.<sup>10</sup>

La economía suele ser un factor determinante. Las tasas más altas del biochar ideal suelen ser mejores, pero no suelen ser rentables. La ayuda financiera de los programas del USDA (Departamento de agricultura de los Estados Unidos) puede complementar los costos (contacte con su centro local de servicios NRCS (servicio de conservación de recursos naturales): [nrcs.usda.gov/contact/find-a-service-center](https://nrcs.usda.gov/contact/find-a-service-center)).

## Momento correcto

### Identificar cuando aplicar

El biochar puede aplicarse en cualquier época del año excepto cuando el suelo está congelado (las leyes estatales prohíben a menudo la aplicación de aditivos en suelos nevados o congelados debido a su mayor potencial de escorrentía).

La primavera es la época más común para aplicar biochar. Pero a menudo, un mejor momento para aplicar biochar es después de cosecha y con un cultivo de cobertura. Esto proporciona tiempo para que el biochar se equilibre en el suelo. Sin embargo, sería imprescindible tener un cultivo de cobertura en esta situación para evitar fugas y que se utilice un exceso de nutrientes del biochar.

La aplicación de biochar con otros aditivos o durante otras operaciones de gestión puede, durante otras labores de cultivo,

ahorrar tiempo y dinero a los agricultores y reducir el riesgo de pérdidas por erosión. Los ejemplos más comunes son mezclar y esparcir biochar con estiércol, desperdicios de aves o composta (abono natural resultante de la acción de bacterias, hongos y gusanos sobre los residuos orgánicos).

## IMPORTANCIA DEL POSTPROCESAMIENTO

### Carga/inoculación/mezcla

El biochar, un material relativamente inerte, sirve como columna vertebral o portador de nutrientes y refugio para los microorganismos. La inoculación, carga, activación, mezcla o combinación, esencialmente llena los grupos funcionales de la superficie del biochar con nutrientes y microbios para iniciar las reacciones en la superficie.

Cuando se aplica al suelo, la inoculación del biochar es fundamental para minimizar la posibilidad de inmovilización de nutrientes (atascamiento de nutrientes), que puede provocar un retraso o una pérdida de rendimiento, sobre todo en el primer año de aplicación. Llenar los espacios porosos del biochar con nutrientes, fertilizantes o sustratos microbiológicos activos, minimiza una posible pérdida de rendimiento y mejora la eficacia y el potencial de impactos positivos del biochar.<sup>11</sup> La mezcla de biochar con estiércol, composta u otros aditivos también puede mejorar su eficacia.<sup>12</sup>

Se pueden utilizar muchas fuentes diferentes para inocular el biochar, como composta, estiércol, té de composta, abono, orina y microbios inoculantes. La selección de uno depende de la disponibilidad, la escala y las prácticas de fertilización de los agricultores.

El tiempo necesario para activarlo antes de utilizarlo varía; de 1 a 3 semanas es lo recomendado.

Los beneficios de la carga de biochar condujeron al desarrollo de FBB: biochar-based fertilizers (fertilizantes a base de biochar) que aprovechan la posibilidad de producir varios tipos de biochar adaptados a necesidades específicas, y utilizan diferentes métodos de pre o post pirólisis para cargar el biochar con nutrientes.<sup>13</sup> Los agricultores pueden hablar directamente con los proveedores de biochar para crear mezclas de biochar personalizadas que satisfagan sus necesidades de abono, o comprar FBB formulados directamente a las empresas de fertilizantes. (Véase el texto sobre biochar granulado/ comprimido en la página 6.)

Para más información, véase la hoja informativa sobre el estiércol: <https://go.unl.edu/biochar>.

## HISTORIA DE UN CASO: LA GRANJA DE LOS GRADY

### Mejora del rendimiento en el trigo

**DESAFÍO/OPORTUNIDAD:** Granja Familiar Gady, con más de 121 hectáreas en Rockford, WA, cultiva principalmente semillas de pasto y granos pequeños en suelos de textura limosa fina. La granja lucha contra problemas de acidez del suelo, lo que requiere aplicaciones regulares de cal agrícola.

**SOLUCIÓN/ENFOQUE:** El biochar puede sustituir la cal agrícola aportando al mismo tiempo nutrientes. A principios de la década de los 2000, en colaboración con Farm Power, se construyó un gasificador en la granja para producir tanto energía como biochar a partir de los residuos de la limpieza de paja y semillas, con el fin de aumentar la sostenibilidad de la granja.

A 650-750°C y con una velocidad de alimentación de 60-82 kg h<sup>-1</sup>, ~ 22.68 kilos de biochar se generan por hora. El biochar tamizado resultante tiene un alto contenido en cenizas (17.7%), una equivalencia de encalado del 12% (carbonato cálcico equivalente), y un valor nutritivo de 2.2% de N (nitrógeno), 3.4% de P (fósforo) y 6.1 % de K (potasio).

En 2013, el USDA-ARS (Servicio de investigación agrícola) realizó pruebas en la Granja Gady para comparar los impactos de las semillas lavadas con biochar frente a la cal,



*Imagen. El crecimiento del trigo en el este de Washington en suelos enmendados con biochar frente a suelos sin enmendar. Foto de Kristin Trippe*

sobre el rendimiento del trigo y otros parámetros del suelo. Cada tratamiento se replicó cuatro veces en dos temporadas (2013 y 2014). El biochar se aplicó a una tasa de 19.77 toneladas/hectárea (equivalente al 1.2% en masa en los 10 centímetros superiores, o 6% en volumen) y cal a 2.47 toneladas/hectárea. A la aplicación de un esparcidor de cal, le siguió la roturación a una profundidad de 10 cm antes de que el trigo de invierno fuera plantado en otoño.

**RESULTADOS:** Las parcelas de biochar aumentaron el rendimiento del trigo, los niveles de humedad del suelo y la abundancia de la comunidad de hongos, en relación tanto al control sin aditivos como a los tratamientos con cal en 2013. El pH del suelo aumentó en la misma cantidad para ambos aditivos. En 2014, ambos aditivos aumentaron los rendimientos de trigo en relación con el control sin aditivo. En general el biochar aumentó los rendimientos en un 280% (la cal en un 200%) durante ambos años.<sup>16</sup>

*Imagen. Biochar siendo incorporado tras su aplicación por dispersión en un campo de maíz de Iowa. Foto por David Laird.*



## APLICACIONES SIMPLES VS. REPETIDAS

Dado que el biochar resiste la descomposición en el suelo, una sola aplicación puede proporcionar efectos beneficiosos a lo largo de muchas temporadas de cultivo.<sup>14</sup> Por lo tanto, el biochar no suele necesitar una aplicación anual, como los abonos, la composta, los fertilizantes químicos y otros aditivos.

Sin embargo, se pueden realizar aplicaciones repetidas o graduales con las actuales prácticas de gestión (por ejemplo, fertilizantes o aplicaciones de composta). Teniendo en cuenta la economía, la logística o mecanización en los sistemas de siembra directa, pueden aplicarse cantidades menores de biochar con mayor frecuencia. Una desventaja es que los cambios en las propiedades del suelo pueden tardar más en materializarse.

En los sistemas de cultivo perennes (por ejemplo, viñedos, huertos y plantas ornamentales), la aplicación de biochar en el momento de la plantación directamente en la hilera de plantación garantiza la incorporación en el perfil del suelo y dentro de la zona radicular. Para las plantaciones existentes, se pueden realizar aplicaciones superficiales repetidas en la hilera o entre hileras, aunque lo mejor es mezclarlo con composta o fertilizante para reducir el riesgo de pérdidas.<sup>15</sup>

En los sistemas de pastos o praderas, la aplicación de biochar antes del pastoreo puede ser ventajosa con respecto a la incorporación, pero la altura del forraje y el tipo de ganado influyen en esa decisión. El mejor momento para aplicar el biochar en los pastos es justo después de que el ganado se haya rotado por el prado, de modo que el biochar se combine con el estiércol residual y la orina.

## HISTORIA DE UN CASO: GRANJA SIEMBRA

### Mejora del suelo arenoso

**DESAFIO/OPORTUNIDAD:** La Granja Siembra es una granja de 6.07 hectáreas situada en las afueras de Gainesville, FL. Se cultivan verduras, hortalizas y frutas para la venta al menudeo, para compartir en AAC (agricultura apoyada por la comunidad) y en mercados de venta al por mayor. Sus metas son mejorar la estructura del suelo y de baja calidad de la granja.

**SOLUCIÓN/ENFOQUE:** Los gerentes aprendieron que el biochar podía mejorar la actividad biológica del suelo y la capacidad de retención de nutrientes y de agua. Necesitaban un método rentable para producir biochar. Dado que el agricultor regularmente limpia la maleza del bosque circundante, empezaron a fabricar biochar a partir de este material.

En la granja se acumulan materiales leñosos, que incluyen troncos de roble, enredaderas, ramas y árboles jóvenes, (de 4.57 metros de diámetro y 1.83-2.13 metros de altura), luego encienden la pila desde arriba hacia abajo con vigilancia ocasional durante 6-8 horas. Una vez que la pila se ha reducido a carbón vegetal, se apaga con tierra o agua. Este método relativamente autónomo produce ~0.76 m<sup>3</sup> de biochar, el cual aplican a ~0.40 hectáreas de tierra.



Imagen por Roy Smith

Si el biochar se produce cerca de la zona donde se prevé utilizarlo, se esparce en el lugar utilizando un cargador frontal de cubo, luego se incorpora al suelo con un roto cultivador en una mezcla. De lo contrario, el biochar es paleado en cubetas, y aplicado a mano alrededor de los cultivos, o mezclado con composta que se extiende utilizando un esparcidor de composta por cada 3.78 m<sup>3</sup>/ha

**RESULTADOS:** Visualmente se aprecian diferencias significativas en el rendimiento de los cultivos de cobertura en las zonas que recibieron biochar en comparación con las zonas que no lo recibieron. Las plantas son más altas, más verdes y más frondosas. Los exámenes del suelo indican que la adición de biochar a los lugares de plantación recién desmontados mejora los nutrientes y la materia orgánica del suelo arenoso. Aproximadamente el 51% de las explotaciones agrícolas de EE.UU. tienen <32.78 hectáreas, por lo que el biochar puede ayudar a las pequeñas explotaciones a mejorar los rendimientos al tiempo que reducen sus costos de insumos.<sup>17</sup>

# EQUIPOS Y MÉTODOS DE APLICACIÓN

Los equipos habituales en las granjas pueden utilizarse para aplicar biochar, incluyendo esparcidores de composta/estiércol, esparcidores de cal, sembradoras al voleo, implementos de labranza, taladros de siembra e inyección de líquido. El equipo que se utilice dependerá del sistema de cultivo, el tamaño de las partículas de biochar, el tamaño de la explotación agrícola y otras prácticas de gestión.

## Métodos

### Aplicaciones por dispersión + incorporación

El biochar puede aplicarse sobre la superficie del suelo a mano (pequeña escala) o utilizando un esparcidor de cal, estiércol o composta (gran escala). Lo ideal es aplicar el biochar en combinación con otros aditivos, como se ha hablado anteriormente, para reducir el riesgo de erosión eólica. Incorpore el biochar al suelo siempre que sea posible utilizando los implementos de labranza disponibles para minimizar cualquier pérdida adicional.

### Inyección líquida, fertirrigación y abonado superficial

Para las explotaciones en las que la inyección de estiércol líquido es habitual (lácteos y cultivos de campo), el biochar micronizado (0.02 mm de tamaño de partícula) puede incorporarse al líquido antes de su aplicación a los campos o agregarse inicialmente a las cubetas de estiércol para proporcionar una variedad de beneficios. Consulte la hoja informativa sobre estiércol: [go.unl.edu/biochar](http://go.unl.edu/biochar)

El biochar micronizado puede disolverse en agua e inyectarse en la zona radicular de cultivos perennes o fertirrigados, lo que podría proporcionar un método lento pero constante de añadir biochar a la zona radicular a través del agua de riego.



Aplicación de residuos de biochar utilizando un pulverizador. Imagen por Kristin Trippe

El biochar micronizado disuelto en agua también puede utilizarse para el tratamiento de césped, campos, campos de golf y prados. Éste también ayuda a disminuir la probabilidad de pérdidas a causa de la erosión por viento o por agua.

### Zanjeo en cultivos perennes

Dirigir el biochar hacia la hilera o el hoyo de plantación donde las raíces tendrán acceso a los nutrientes es lo ideal. Además, añadir biochar al hoyo de plantación es más económico que aplicarlo a toda la hilera.<sup>18</sup>

### Taladrado/anillado en pastos y campos de siembra directa

El biochar puede mezclarse con semillas y/o fertilizantes en las sembradoras sin sembradoras de labranza en el suelo, con una alteración mínima de la superficie del mismo. Asegúrese de que el biochar esté seco (<20% de humedad) antes de mezclarlo para evitar que se apelmace en el taladro.

### Otras consideraciones:

El biochar peletizado se produce compactando el biochar residual en pequeños gránulos con o sin aglutinante.<sup>19</sup> Peletizar el biochar con gallinaza, heno u otro aglutinante adecuado facilita la aplicación con el equipo existente. Los gránulos más densos minimizan la pérdida potencial cuando el biochar se aplica superficialmente. El tipo de aglutinante varía, pero utilizar un sulfato de urea o amonio debe decir sulfato de amonio o urea (son dos fertilizantes diferentes) es una buena opción para suministrar N adicional y equilibrar la relación C:N (carbono – nitrógeno)

Biochar prensado - Un producto como la urea prensada con biochar puede ofrecer el sustrato más compatible para que los agricultores lo utilicen en los equipos de aplicación de fertilizantes existentes. Más de 20 estudios revelaron un retraso del 15-69% en la liberación de N y una mejora del 25-65% en la eficacia al utilizar fertilizantes con biochar comprimido a base de fertilizantes de N.20

Incorpore el biochar al suelo, cuando sea posible, utilizando herramientas de labranza, lo que suele ser el método de aplicación más práctico. Humedecer el biochar puede reducir aún más las pérdidas provocadas por el viento en el momento de la aplicación. Sin embargo, el biochar demasiado húmedo puede resultar difícil de esparcir en función del equipo utilizado. La mezcla con estiércol o composta ayuda a su esparcimiento. El biochar por sí mismo es muy seco y polvoso, por lo que un adecuado equipo de protección personal (por ejemplo, máscara anti polvo, gafas y guantes) es requerido. Es mejor aplicar el biochar durante condiciones climáticas estables.

# HISTORIA DE UN CASO: GRANJA SHAMROCK DE ÁRBOLES DE NAVIDAD

## Minimizar la lixiviación de nutrientes

**DESAFÍO/OPORTUNIDAD:** Situada en el extremo este de Long Island, en Mattituck, Nueva York, Shamrock Christmas Tree Farm es una explotación de 8.09 hectáreas especializadas en la producción de árboles de abeto Douglas. Los suelos arenosos y los bajos niveles de materia orgánica (MO) (1.7%) significan que la retención de agua y de nutrientes son un problema, lo que provoca la clorosis. El propietario Joe Shipman estaba interesado en ver si el biochar podría ayudar a solucionar estos problemas.

**SOLUCIÓN/ENFOQUE:** En 2019, una prueba de campo de 3 años<sup>21</sup> se inició para evaluar el impacto de la tasa de aplicación de biochar en la disponibilidad de nutrientes, la retención de agua en el suelo y la respuesta de las plantas en el campo de cultivo comercial de abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) árboles de Navidad. El biochar, inoculado con té de compost, se aplicó a dosis de 12.35, 24.71 y 37.07 toneladas/hectárea, además de un control sin biochar. Cada parcela de tratamiento tenía 10 árboles, replicados 5 veces (200 árboles en total en el estudio). El biochar se aplicó en superficie y se rastilló en los 10 cm superiores del suelo dentro de la futura franja de herbicidas (véase la imagen).

Se instalaron lisímetros para controlar la lixiviación de nitrógeno, mientras que sondas del reflectómetro de dominio temporal (TDR) y sensores de agua potencial

se instalaron para registrar la humedad del suelo, la conductividad eléctrica y la temperatura del mismo. El cultivador siguió sus prácticas habituales para el manejo de las malas hierbas y control de la fertilidad.

**RESULTADOS:** Durante la temporada de cultivo de 2019, todos los tratamientos con biochar resultaron en niveles más bajos de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en comparación con el control sin biochar. Los datos fueron más variables para la lixiviación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las temporadas de cultivo de 2020 y 2021, pero fueron en promedio más bajos en todos los tratamientos con biochar en comparación con el control. Promediados en profundidad, los niveles de humedad del suelo en 2020 no mostraron diferencias entre el tratamiento y control de 37.07 toneladas/hectárea. No se recopilaron datos en 2021 debido a problemas con los sensores.

A lo largo de los 3 años del estudio, no se encontraron diferencias entre los tratamientos en el número de brotes líderes y la altura de los árboles para los abetos Douglas. Sin embargo, no se observaron síntomas de clorosis en los árboles con el aditivo de biochar. Todos los tratamientos con biochar aumentaron los niveles de MO en comparación con el control (>2%). Los resultados apoyan la necesidad de incorporar o zanjar el biochar en la hilera de plantación para garantizar que éste se posicione en la zona radicular y minimizar las pérdidas por erosión eólica o hídrica.



Imagen por Debbie Alter

## Referencias

1. Biederman, L.A., and Harpole, W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 5(2), 202–214. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>
2. Dai, Y., Zheng, H., Jiang, Z., and Xing, B. 2020. Combined effects of biochar properties and soil conditions on plant growth: A metaanalysis. *Science of The Total Environment*, 713, 136635. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136635>
3. Schmidt, H.P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T. D., Sánchez Monedero, M. A., and Cayuela, M. L. 2021. Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, 13, 1708– 1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>
4. Singh, H., Northup, B.K., Rice, C.W., and Prasad, P.V.V. 2022. Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis. *Biochar*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00138-1>
5. Fixen, P.E. 2020. A brief account of the genesis of 4R nutrient stewardship. *Agronomy Journal*. 112: 4511-4518. <https://doi.org/10.1002/aj2.20315>
6. Ippolito, J. A., Cui, L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J.M., Fuertes-Mendizabal, T., Cayuela, M. L., Sigua, G., Novak, J., Spokas, K., and Borchard, N. 2020. Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: A comprehensive metadata analysis review. *Biochar*, 2(4), 421–438. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00067-x>
7. Blanco-Canqui, H. 2019. Biochar and Water Quality. *J. Environ. Qual*, 48:2–15. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.06.0248>
8. Dokoohaki, H., Miguez, F. E., Laird, D., and Dumortier, J. 2019. Where should we apply biochar? *Environmental Research Letters*, 14(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafcf0>
9. Zulfiqar, F., Allaire, S.E., Akram, N.A., Méndez, A., Younis, A., Peerzada, A.M., Shaukat, N., and Wright, S.R. 2019. Challenges in organic component selection and biochar as an opportunity in potting substrates: a review, *Journal of Plant Nutrition*, 42:11-12, 1386-1401. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617310>
10. Allaire, S.E., and Lange, S.F. 2017. Report: Horticultural substrates containing biochar: Performance and economy. CRMR-2017-SA-3. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, Université Laval, Québec, Canada, 40 p.
11. Schmidt, H.-P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T. D., Sánchez Monedero, M. A., and Cayuela, M. L. 2021. Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, 13, 1708– 1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>
12. Major, J. 2010. Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. International Biochar Initiative.
13. Melo, L.C.A., Lehmann, J., Carneiro, J.S., and Camps-Arbestain, M. 2022. Biochar-based fertilizer effects on crop productivity: a metaanalysis. *Plant Soil* 472, 45–58. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05276-2>
14. Major, J. 2010. Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. International Biochar Initiative.
15. Genesio, L., Miglietta, F., Baronti, S., and Vaccari, F.P. 2015. Biochar increases vineyard productivity without affecting grape quality: Results from a four year field experiment in Tuscany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 201: 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.021>
16. Philips, C.L., Trippe, K., Reardon, C., Mellbye, B., Griffith, S.M., Banowetz, G.M., Gady, D. 2018. Physical feasibility of biochar production and utilization at a farm-scale: A case-study in nonirrigated seed production. *Biomass and Bioenergy*. 108:244-251. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.042>
17. US Department of Agriculture - National Agricultural Statistics Service (USDA – NASS). 2022. Farms and Land in Farms 2021 Summary. [https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays\\_Reports/reports/fnl0222.pdf](https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/fnl0222.pdf)
18. Sales, B. K., Bryla, D. R., Trippe, K. M., Scagel, C. F., Strik, B. C., and Sullivan, D. M. 2022. Biochar as an Alternative Soil Amendment for Establishment of Northern Highbush Blueberry, *HortScience*, 57(2), 277-285. Retrieved Apr 10, 2023, from <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16257-21>
19. Mohammadi A. 2021. Overview of the Benefits and Challenges Associated with Pelletizing Biochar. *Processes*, 9(9):1591. <https://doi.org/10.3390/pr9091591>
20. Gao, Y., Fang, Z., Van Zwieten, L., Bolan, N., Dong, D., Quin, B.F., Meng, J., Li, F., Wu, F., Wang, H., and Chen, W. 2022. A critical review of biochar-based nitrogen fertilizers and their effects on crop production and the environment. *Biochar*, 4, 36. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00160-3>
21. [https://projects.sare.org/sare\\_project/lne19-384r/](https://projects.sare.org/sare_project/lne19-384r/)



Citas sugeridas: Aller, D., Trippe, K., Smith, B., Seman-Varner, R., Delaney, M., Miles, T. 2023. Biochar Guidelines for Agricultural Applications: Practical insights for applying biochar to annual and perennial crops. United States Biochar Initiative.

Si desea más información, visite el sitio web de la iniciativa del Biochar en EE. UU: [biochar-us.org](https://biochar-us.org) Encontrará recursos adicionales en la pestaña “Educación”.

Publicado por: USBI en colaboración con el Servicio Forestal de Nebraska. Gracias al Servicio Forestal de EE.UU. por su ayuda financiera



Escanee para visitar el Centro de Aprendizaje de la Iniciativa de Biochar de EE. UU

