

Efecto del biocarbón en las características del suelo y en la producción del cultivo de Zea maíz

Effect of biochar on soil characteristics and production of Zea corn crop

Llallico, Fortunata J.¹; Marcelo, Carlos F.¹ y Berrocal, Lidia .¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Centro del Perú, Satipo, Perú.

Resumen: Los residuos agrícolas provenientes de podas de cultivos permanentes como el cacao en el distrito de Rio Negro, provincia de Satipo, impulsan a su uso eficiente para evitar la proliferación de patógenos y la quema que contribuye a la contaminación ambiental. La investigación propone aprovechar eficientemente estos residuos transformándolos en biochar que libera nutrientes de manera gradual, para la nutrición de plantas y facilitando el movimiento del agua y aire gracias a sus microporos, convirtiéndolo en una enmienda potencial para mejorar la fertilidad del suelo. El objetivo fue evaluar el efecto del biocarbón producido en hornos semiindustriales en las características del suelo y en la producción del cultivo de Zea mays. Es una investigación aplicada, experimental, con una población y muestra de 36 plantas de maíz, 4 plantas por unidad experimental. La muestra de suelo, constituida por 1 kg, con una población total de 8 kg por unidad experimental. Las dosis de biocarbón fueron de 0, 15 y 30 g/planta, evaluados con un diseño de bloques completamente al azar. Los resultados mostraron que el biocarbón producido en hornos semiindustriales con ramas de cacao presenta alta concentración de elementos nutritivos y reacción muy alcalina (pH=9,63). La concentración de potasio, calcio y magnesio en el suelo es alta, mejorando la capacidad de intercambio catiónico. La aplicación de biocarbón reduce la concentración de sales, y con una dosis de 15 t.ha⁻¹, aumenta significativamente el pH en 0,6 unidades en el suelo, favoreciendo el crecimiento de las plantas de maíz.

Palabras clave: biocarbón, cacao, fertilización, maíz, suelo, cultivo.

Abstract: Agricultural waste from pruning of permanent crops such as cocoa in the district of Rio Negro, province of Satipo, encourages its efficient use to avoid the proliferation of pathogens and burning that contributes to environmental pollution. The research proposes to efficiently use these wastes by transforming them into biochar that gradually releases nutrients for plant nutrition and facilitating the movement of water and air thanks to its micropores, turning it into a potential amendment to improve soil fertility. The objective was to evaluate the effect of biochar produced in semi-industrial ovens on soil characteristics and Zea mays crop production. It is an applied, experimental research, with a population and sample of 36 corn plants, 4 plants per experimental unit. The soil sample, consisting of 1 kg, with a total population of 8 kg per experimental unit. The biochar doses were 0, 15 and 30 g/plant, evaluated with a completely randomized block design. The results showed that the biochar produced in semi-industrial ovens with cocoa branches has a high concentration of nutritional elements and a very alkaline reaction (pH=9.63). The concentration of potassium, calcium and magnesium in the soil is high, improving the cation exchange capacity. The application of biochar reduces the concentration of salts, and with a dose of 15 t.ha⁻¹, it significantly increases the pH by 0.6 units in the soil, favoring the growth of corn plants.

Keywords: biochar, cocoa, fertilization, corn, soil, crop.



Referencia: Llallico, F. J., Marcelo, C. F., y Berrocal, L. . (2024). Efecto del biocarbón en las características del suelo y en la producción del cultivo de Zea maíz. *Prospectiva Universitaria en Ciencias Agrarias*, 05(01), 16–21. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/pucag/article/view/2498>

Recibido: 15 de enero 2024

Aceptado: 30 de junio de 2024

Publicado: 30 de junio de 2024

Prospectiva Universitaria en Ciencias Agrarias. Vol. 05, núm. 01, enero a junio, 2024. Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons



CC BY 4.0 DEED

Attribution 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Introducción

Se estima que la generación media anual de biomasa residual total a nivel mundial es de 140 Gt/año, siendo los volúmenes de biomasa residual de cultivos generados por las actividades agrícolas enormes y representan el 94% de la producción mundial de biomasa (LontsiEtAl2024). La alta producción de residuos de la actividad agrícola del cultivo de cacao expuestas al ambiente, constituyen focos de proliferación de plagas que pudieran afectar a las plantas (Barrezueta et al., 2024), por lo que es necesario encontrar la mejor gestión de estos residuos, al incorporarlos en la producción de abonos (Vargas et al., 2021); considerando que el aprovechamiento y reciclaje de los residuos agrícolas para ser utilizado como sustratos o enmiendas del suelo fomenta una economía local y sostenible (De la Rosa et al., 2022).

La producción de biocarbón se presenta como una de las alternativas para la gestión de los residuos orgánicos, y evitar la pérdida de compuestos nitrogenados por lixiviados y la volatilización (Leveau et al., 2021). Dado que estos residuos son biodegradables, se pueden descomponerse en moléculas simples que las plantas pueden utilizar. El carbón vegetal es un mejorador del suelo (Rex et al., 2023) que elimina de manera efectiva el dióxido de carbono neto de la atmósfera. Su producción a partir de residuos vegetales urbanos, agrícolas y forestales puede contribuir a mitigar los efectos del cambio climático global (Fiallos-Ortega et al., 2015). Así mismo Reyes Pallazhco et al., (2023), comenta que como alternativa a los fertilizantes químicos surge la aplicación de biocarbón, debido a que interviene en la dinámica del carbono terrestre, de la misma manera, (Pariona-Palomino et al., 2020) indican que su aplicación como enmienda permite incrementar la fertilidad del suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como el CO₂.

El biocarbón es ligero, tiene una estructura porosa y posee una elevada capacidad para retener agua (Pérez-González et al., 2021), la misma que se obtiene mediante la conversión térmica, proceso conocido como pirólisis a una temperatura entre 400 y 650°C en ausencia de oxígeno (Barrezueta et al., 2024), siendo utilizada en las últimas décadas, como una enmienda orgánica para suelos degradados (De la Rosa et al., 2022). Gracias a su alcalinidad (pH 8,8 a 10,5), permite el incremento del pH de los suelos ácidos, facilitando además la absorción del agua, actuando también como reserva de carbono, e incrementando la actividad microbiana en el suelo (Barrezueta et al., 2022); mejora las características físicas del suelo, tales como la porosidad, la densidad aparente, la capacidad de intercambio

cationico y la conductividad eléctrica, entre otras (Barrezueta et al., 2024), por su parte Zhou et al., (2024) indica que la aplicación de biocarbón mostró efectos positivos en las propiedades físicas y químicas del suelo.

La incorporación de biocarbón al suelo aumenta la absorción de nitrógeno y su concentración en la biomasa aérea, además de mejorar la disponibilidad de magnesio, calcio, potasio y fósforo. La combinación de biocarbón y suelo en una proporción de 1:9 (p/p) con la adición de fertilizantes (nitrógeno, fósforo y potasio) puede ser utilizada en el desarrollo en vivero de *Pinus greggii* Engelm ex Parl (Pérez-Cabrera et al., 2021), y en combinación con cal eleva el pH cercano a 7, aumenta el contenido de materia orgánica en un 23%, incrementa el nitrógeno en un 20%, el fósforo disponible en un 116%, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en un 46% y los cationes intercambiables (Rupay et al., 2023).

En los últimos tiempos, se ha mostrado gran interés por los abonos orgánicos en el desarrollo de las plantas, debido a que los abonos orgánicos además de suministrar nutrientes, también tienen efectos positivos en las propiedades del suelo gracias a su contenido de materia orgánica, que es un factor clave para los procesos biológicos y el ciclo de los nutrientes entre el suelo y las plantas (Barrezueta et al., 2022), es así que, en estudios realizados en la producción forrajera de alfalfa en Ecuador, mostraron resultados favorables con la aplicación de 30 t.ha-¹ de carbón vegetal, logrando un menor tiempo hasta la floración, mayor cobertura basal y aérea, mejor altura, mayor cantidad de hojas por tallo y una mayor producción de forraje tanto en materia verde como seca; lo que se recomienda para obtener una mayor cantidad de forraje verde, mejorar la calidad del suelo y asegurar la rentabilidad económica para los productores y ganaderos (Fiallos-Ortega et al., 2015).

En la investigación realizada sobre cultivo de trigo sarraceno la adición de biocarbón a tasas de 20, 40 y 60 t.ha-¹ mejora el rendimiento con promedios de 11,23% a 22,82% en suelo arenoso eólico y entre un 7,36% y un 14,87% en suelo de pradera gris a lo largo de tres años (Zhou et al., 2024), por lo que el uso del biocarbón de residuos de cacao puede ser viable, considerando que el biocarbón de madera tienen un potencial considerable para mejorar el pH del suelo, secuestrar carbono y fijar metales pesados en suelos contaminados (Meli et al., 2024).

En las actividades de producción agrícola, es común que los restos de las purmas se queman generando contaminación ambiental y pérdida de nutrientes

(Zhang et al., 2024), una alternativa para su aprovechamiento es la transformación en biocarbón el cual tiene potencial para el aprovechamiento en la producción agrícola y conocedores de las propiedades que ofrece el carbón vegetal y los requerimientos de fertilización de algunos cultivos, se desarrolló la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto del carbón producido en hornos semiindustrial en las características del suelo y en la producción del cultivo de *Zea maiz.*, considerando como problema ¿Qué efectos tiene el biocarbón producido en hornos semiindustrial, utilizando residuos de poda del cultivo de cacao sobre las características del suelo y la producción del cultivo *Zea maiz?*, y como hipótesis que el biocarbón al tratarse de una fuente de materia orgánica mejora las características fisicoquímicas y biológicas del suelo, además mejora la producción del cultivo de *Zea maíz*.

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción de la zona de estudio

La investigación se desarrolló en el distrito de Río Negro, provincia de Satipo; la recolección de los restos de poda y la producción de biocarbón en el fundo “La Generosa”, ubicada en el Centro Poblado Portillo Alto, la evaluación del cultivo *Zea maiz* en el módulo productivo, los análisis del biocarbón y suelo, en el laboratorio de análisis de suelos, agua, plantas y fertilizantes “Kipatsi”.

2.2. Obtención del biocarbón y evaluación de propiedades

Para la obtención del biocarbón se recolectaron los restos de podas primarias y secundarias del cultivo de cacao, las cuales se sometieron a un secado natural (Pérez-Cabrera et al., 2021) por 30 días, para su posterior acondicionamiento en trozos y acomodo en el equipo semiindustrial, iniciándose con el proceso de pirólisis en un tiempo de 6 horas, con posterior enfriamiento de 12 horas. Se obtuvo un rendimiento de 16%. Se realizó el análisis químico del carbón, utilizando metodologías de análisis de suelos que permiten cuantificar los elementos extractables y disponibles de una muestra de 500 g.

Rendimiento % = (Biocarbón (kg) / Biomasa residual (kg)) 100

2.3. Preparación de sustrato, dosis y siembra de *Zea maíz*

Se preparó la mezcla utilizando 8 kg de tierra agrícola para cada unidad experimental; las dosis empleadas de biocarbón fueron de 0, 15, 30 g para cada tratamiento, lo cual representa una dosis de 0, 5 y 10 t/ha.

La población y muestra estuvo constituida por 36 plantas de maíz en todo el experimento y por cada uni-

dad experimental se consideró una población y muestra de 4 plantas. Para suelo, cada muestra estuvo constituida por 1 Kg de suelo, siendo la población de 8 Kg por unidad experimental.

2.4. Siembra de semillas de maíz

Se adquirió semillas de buena calidad, las que se sometieron a un pretratamiento de remojo por un periodo de 24 horas previo a la siembra. Se colocaron 2 semillas por cada contenedor, a una profundidad de 5 cm. Realizándose el posterior riego cada 4 días a fin de mantener la humedad del suelo hasta el desarrollo para su evaluación.

2.5. Evaluación del crecimiento vegetativo

Luego de 37 días de sembrado, se tomaron datos de las variables altura de planta, número de hojas, peso de raíz, datos que fueron procesados y analizados estadísticamente.

2.6. Diseño Experimental

Se utilizó el diseño completamente al azar con dos tratamientos y un testigo, cada uno con dos repeticiones. El tratamiento 1 (tierra agrícola 8 kg con 15 g de biocarbón), el tratamiento 2 (tierra agrícola 8 Kg con 30 g de biocarbón) y el testigo 0 (Tierra agrícola 8 Kg sin biocarbon), con análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey.

3. Resultados

Tabla 1

Características químicas del biocarbón producidos en hornos semiindustrial

Variable	Unidad	Valor
pH	Unidad	9.63
CE	dS.m ⁻¹	22.13
Fósforo extractable	mg.kg ⁻¹	556.02
Potasio Extractable	mg.kg ⁻¹	413.54
Calcio cambiante	cmol.kg ⁻¹	12.50
Magnesio cambiante	cmol.kg ⁻¹	15.50

Nota. Los análisis se realizaron siguiendo las metodologías para el análisis de suelos

Al realizar el análisis químico del biocarbón producido en hornos de cilindro (semi industrial), el pH tiene un valor de 9.63 considerado como muy alcalino e indica la posibilidad de suso como enmienda en suelos ácidos, la conductividad eléctrica (salinidad) es de

22.13 dS.m⁻¹ considerada como fuertemente salino y podría incrementar la salinidad de los suelos y afectar el crecimiento de plantas sensibles a la salinidad, el contenido de fósforo extractable, potasio extractable, calcio cambiante y magnesio cambiante es alto, y sugiere que su uso podría favorecer la disponibilidad de estos nutrientes en los suelos y mejorar el crecimiento de las plantas cultivadas.

El biocarbón producido con ramas del cultivo de cacao, presentan características químicas favorables para ser utilizadas como enmienda, debido a su pH muy alcalino, además de tener buena concentración de elementos nutritivos como el fósforo, potasio, calcio y magnesio, requeridos por las plantas.

Al analizar el efecto del uso del biocarbón sobre las propiedades químicas de un suelo ácido, se observa que influye sobre el pH, la salinidad, el contenido de materia orgánica, el fósforo extractable, el magnesio y la acidez cambiante, mientras que el contenido de potasio y calcio no es influenciado.

La aplicación de 5 toneladas de biocarbón incrementa inicialmente en 0.6 unidades, mientras que la adición de 5 toneladas más (10 toneladas), solo incrementa 0.1 unidad, respecto a la aplicación de 5 toneladas. Se deja notar que la aplicación de 5 toneladas por hectárea de biocarbón mejora significativamente el pH, pero este incremento es insuficiente para llegar a pH apropiados para el cultivo de maíz.

Respecto a la salinidad, el incremento de biocarbón disminuye la conductividad eléctrica del suelo, este resultado es inversamente proporcional a los esperado, considerando que el biocarbón es fuertemente salino. Por lo que resulta favorable el uso de biocarbón para controlar la salinidad del suelo.

La adición de dosis crecientes de biocarbón disminuye la cantidad de materia orgánica del suelo, esta acción se podría atribuir al incremento del pH, el cual favorece la actividad bacteriana y permite la descomposición del material orgánico.

El incremento del biocarbón permite una mayor disponibilidad del fósforo extractable en el suelo, este comportamiento está en relación con el alto contenido de fósforo del biocarbón, por lo que resulta favorable la aplicación del biocarbón.

El incremento del biocarbón permite una mayor disponibilidad del magnesio cambiante en el suelo, este comportamiento está en relación con el alto contenido de magnesio del biocarbón, por lo que resulta favorable la aplicación del biocarbón.

Con el incremento del biocarbón se logra disminuir la concentración de la acidez cambiante en el suelo de una concentración calificada como baja (>0.6

cmol.kg⁻¹) a una concentración calificada como muy baja (<0.6 cmol.kg⁻¹), este comportamiento está en relación con el alto contenido de calcio y magnesio del biocarbón, por lo que resulta favorable la aplicación del biocarbón.

El incremento del biocarbón permite el incremento de tamaño, el peso de hojas y el peso de raíces de las plantas de maíz, este comportamiento está en relación con el incremento de nutrientes que se logra al aplicar biocarbón al suelo, también está en relación con el incremento del pH, ya que la planta de maíz se desarrolla mejor en rangos tendientes a la neutralidad. Así mismo, se nota el efecto represivo de la acidez cambiante en el testigo que, aun teniendo un bajo contenido de acidez, afecta significativamente el crecimiento del maíz.

4. Discusiones

El biocarbón producido en hornos semiindustriales con ramas de cacao presentan un rendimiento de 16%, siendo inferior al biocarbón de bambú (López et al., 2020), por su parte Namaswa et al., (2023), menciona que, dependiendo del diseño, los hornos pueden alcanzar una eficiencia de rendimiento del 10 al 46 % y producir biocarbón que contiene entre un 26 y un 87% de carbono fijo, por lo que el horno semiindustrial tipo tambor utilizado produce carbón dentro del rango esperado. Otros estudios reportan que al utilizar la cáscara de cacao se obtiene un rendimiento de 9,70% (Oré Cierto et al., 2022)

Respecto su alta concentración de elementos nutritivos, Fiallos-Ortega et al., (2015), indican que el carbón vegetal es un mejorador del suelo, mientras que, De la Rosa et al., (2022) la catalogan como una enmienda orgánica para suelos degradados, esta afirmación estaría relacionada a la reacción muy alcalina que presenta el biocarbón (pH=9.63). La concentración de potasio, calcio y magnesio es alta, lo que estaría mejorando la capacidad de intercambio catiónico (Barrezueta Unda et al., 2024), al respecto, Lontsi et al., (2024) reporta que las propiedades fisicoquímicas del biocarbón varían mucho según el origen de los residuos. Estas condiciones favorecen su uso como enmienda orgánica para suelos degradados (De la Rosa et al., 2022).

La aplicación de biocarbón disminuye la concentración de sales en el suelo, contrariamente a la alta concentración de sales presentes el bio carbón, al respecto Rupay et al., (2023) comenta que la concentración de sales puede tener reacciones diferentes, esta característica está asociada al tipo de material con el que se

elabora el biocarbón. Por su parte (Jin et al., 2024), indican que a aplicación puntual de biocarbón reduce la concentración de sodio y la conductividad eléctrica. Al respecto (Schurkamp et al., (2024) sugieren que el biocarbón actúa como una enmienda que puede liberar a la planta del estrés salino agudo.

El biocarbón a 15 t.ha⁻¹, incrementa significativamente el pH en 0.6 unidades, gracias a su alcalinidad, al respecto, el (Gunarathne et al., 2022) indica que, el pH del suelo se ve influenciado positivamente por la presencia de biocarbón, similar reacción reporta Barrezueta Unda et al., (2024); quién recomienda su uso en suelos ácidos, por su parte Fiallos-Ortega et al., (2015), reporta el incremento del pH de 4.7 a 6.3 al aplicar 30t.ha⁻¹, mientras que, (Azuka et al., 2024) indica que, al enmendar suelos con biocarbón, el pH del suelo mejoró de fuertemente ácido (4,1) en el suelo original a ligeramente ácido (5,3), esta misma acción lo reportan Dawerasha et al., (2024) y Pardavé et al., (2017). El incremento del pH favorece la actividad microbiana (Barrezueta Unda et al., 2024), lo que estaría contribuyendo a la descomposición de la materia orgánica significativamente (Hossain et al., 2020).

El fósforo y los cationes cambiables se incrementan en el suelo al aplicar biocarbón (Rupay et al., 2023), por su parte Pérez-González et al., (2021), indican que mejora la disponibilidad de magnesio, calcio, potasio y fósforo, como se evidencia con los resultados obtenido, aunque Fiallos-Ortega et al., (2015), reportan que hubo un descenso en la disponibilidad de estos nutrientes, cuando esto se encuentran en concentraciones muy altas, para el fósforo reporta un descenso de 601.39 a 592.59 mg/kg al aplicar 30 t.ha⁻¹ de biocarbón, en el presente estudio se incrementa de 17.8 a 22.6 mg/kg al aplicar la misma proporción de biocarbón, al respecto Rupay et al., (2023) indica que estas reacciones diferentes, está asociada al tipo de material con el que se elabora el biocarbón, al respecto Lontsi et al., (2024) menciona que la disponibilidad de nutrientes requeridos por las plantas depende de varios factores, incluyendo la acidez del suelo, el carbono orgánico del suelo, la textura y la estructura del suelo, la cual es favorecida por el biocarbón que presenta una mayor capacidad de intercambio de cationes, debido a su mayor área y carga negativa superficial (Escalante

Rebolledo et al., 2016).

A mayor dosis de biocarbón mayor es el crecimiento de las plantas de maíz, esta acción se atribuye a la mayor disponibilidad de magnesio, calcio, potasio y fósforo (Pérez-González et al., 2021). Similares resultados encontraron Fiallos-Ortega et al., (2015) al producir alfalfa con aplicación de 30 t.ha⁻¹ de carbón vegetal logrando una, mayor cobertura basal y áerea, mejor altura, y una mayor producción de forraje tanto en materia verde como seca, por su parte Barrezueta-Unda et al., (2022), reporta que con la aplicación de biocarbón se logra un mayor peso de racimos en el cultivo de plátano. La incorporación de biochar puede alterar el crecimiento y las características de la raíz, debido a que mejora la absorción de nutrientes por las plantas (Ahmad et al., 2024), y, por lo tanto, afectar favorablemente el crecimiento de la planta (González-Marquetti et al., 2020) y la productividad agrícola (Valarezo et al., 2017).

Por lo que el uso del biocarbón permitiría mejorar la calidad del suelo y asegurar la rentabilidad económica para los productores y ganaderos (Fiallos-Ortega et al., 2015). Tal como refiere Pérez-González et al., (2021), la fertilidad del suelo se puede mejorar con la incorporación de biocarbón, promoviendo así el crecimiento y la productividad de los cultivos, al respecto Lontsi et al., (2024) comenta que la mayoría de las investigaciones agrícolas han reportado que el pH adecuado del biocarbón es alcalino y debe tener altos niveles de carbono orgánico estable, lo que podría incrementar la materia orgánica del suelo, y alta disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes (Tazebew et al., 2024) requeridos para el crecimiento de las plantas.

4.1. Agradecimientos

Al laboratorio de análisis de suelos, agua, plantas y fertilizantes KIPATSI EIRL, por su contribución con los análisis del biocarbón y los suelos.

4.2. Contribución de los autores

Autor 1, 2 y 3, contribuyeron en todo el proceso del desarrollo de la investigación. Todos los autores revisaron el manuscrito.

4.3. Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

- Barrezueta, S., Condoy-Gorotiza, A., & Sánchez-Pilcorema, S. (2022). Efecto Del Biocarbón En El Desarrollo de Las Plantas de Banana (Musa AAA) En Fincas a Partir de Un Manejo Orgánico y Convencional. *Enfoque UTE*, 13(3). <https://doi.org/10.29019/efoqueute.815>

- Barrezueta, S., Romero, H., & Rios, M. (2024). Características Principales Del Biocarbón Derivado de Restos de Theobroma Cacao L. Para Su Uso En Suelos Agrícolas. *Revista Colombiana de Química*, 19-24. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v52n1.110591>
- Fiallos-Ortega, L. R., Flores-Mancheno, L. G., Duchi-Duchi, N., Flores-Mancheno, C. I., Baño-Ayala, D., & Estrada-Orozco, L. (2015). Restauración Ecológica Del Suelo Aplicando Biochar (Carbón Vegetal), y Su Efecto En La Producción de Medicago Sativa. *CIENCIA Y AGRICULTURA*, 12(2), 13. <https://doi.org/10.19053/01228420.4349>
- Leveau, M., Dumler, S., Anaya De La Rosa, R., Alegre, J., & Ladd, B. (2021). Uso de Biocarbón En El Balance de Nitrógeno En Suelos Aluviales de San Ramón, Chanchamayo - Perú. *Ecología Aplicada*, 20(2), 179-188. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1808>
- Meli, G. R., Kanouo, B. M., Pernot, C., & Munson, A. D. (2024). Production and characterization of eight biochars originating from agricultural waste in Cameroon. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26(5), 3280-3290. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02022-5>
- Pariona-Palomino, J., Matos, W., & Huillca, E. (2020). Biochar Como Tecnología de Emisión Negativa Frente al Cambio Climático. *South Sustainability*, e014. <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-014>
- Pérez-Cabrera, C. A., Juarez-Lopez, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejacal, I., Salcedo-Pérez, E., & Balois-Morales, R. (2021). Beneficios Potenciales Del Biocarbón En La Productividad de Cultivos Agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 713-725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2542>
- Rex, P., Mohammed Ismail, K., Meenakshisundaram, N., Barmavatu, P., & Sai Bharadwaj, A. (2023). Agricultural Biomass Waste to Biochar: A Review on Biochar Applications Using Machine Learning Approach and Circular Economy. *ChemEngineering*, 7(3), 50. <https://doi.org/10.3390/chemengineering7030050>
- Rupay, J., Pérez, W. E., Solórzano-Acosta, R., Quintanilla, J., Cruz, J., & Cosme, R. (2023). Variación de La Emisión de CO₂ Temporal, CO₂ Acumulado y Mejora de Características Asociadas a La Fertilidad de Un Suelo Ácido Mediante La Aplicación de Biochar. *Folia Amazónica*, 32(2), e32672. <https://doi.org/10.24841/fa.v32i2.672>
- Vargas, A. F., López, J. A., & Alvarado, Á. E. (2021). Sostenibilidad Ambiental Y Manejo De Residuos En Sistemas De Producción De Cacao En El Suroccidente De Boyacá-Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 18(3), 47-62. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.12896>

Tabla 2

Resumen del análisis de varianzas del efecto de las dosis de biocarbón en las características químicas del suelo

Variable	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
pH (Unidades)					
Entre grupos	0.839	2	0.420	297.29	0.000
Intra grupos	0.008	6	0.001		
CE					
Entre grupos	0.125	2	0.063	281.45	0.000
Intra grupos	0.001	6	0.000		
Materia orgánica (%)					
Entre grupos	0.011	2	0.006	6.11	0.036
Intra grupos	0.006	6	0.001		
Fósforo (ppm)					
Entre grupos	34.779	2	17.390	30.88	0.001
Intra grupos	3.379	6	0.563		
Potasio (ppm)					
Entre grupos	226.060	2	113.030	2.08	0.206
Intra grupos	325.715	6	54.286		
Calcio (cmol.kg⁻¹)					
Entre grupos	0.002	2	0.001	0.27	0.770
Intra grupos	0.018	6	0.003		
Magnesio (cmol.kg⁻¹)					
Entre grupos	0.191	2	0.095	13.72	0.006
Intra grupos	0.042	6	0.007		
Acidez cambiante (cmol.kg⁻¹)					
Entre grupos	0.436	2	0.218	130.67	0.000
Intra grupos	0.010	6	0.002		

Tabla 3*Resumen del análisis de varianzas del efecto de las dosis de biocarbón en el crecimiento de plantas de Zea mays L*

Variable	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Altura (cm)					
Entre grupos	675.35	2	337.67	12.69	0.007
Intra grupos	159.67	6	26.612		
Hojas (unidades)					
Entre grupos	3.8472	2	1.9236	3.46	0.1
Intra grupos	3.3333	6	0.5556		
Hoja (gramos)					
Entre grupos	133.18	2	66.59	12.92	0.0067
Intra grupos	30.917	6	5.1528		
Raíz (gramos)					
Entre grupos	186.18	2	93.088	18.63	0.0027
Intra grupos	29.987	6	4.9978		