

## PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN BIOCHAR OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE CACAO

María F. Oviedo<sup>1</sup>; Edier H. Pérez<sup>1</sup>; Leidy R. Niño<sup>1</sup>; Claudia F. V. Raigoza<sup>2</sup>; Diego M. Sandoval<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Agroquímica, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y de la Educación, Universidad del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo de Ciencia y Tecnología en materiales (Cytamac) Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales y de la Educación, Universidad del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia.

[mafeoviedo@unicauca.edu.co](mailto:mafeoviedo@unicauca.edu.co)

**Palabras clave:** Biocarbón, Residuos agrícolas, Aprovechamiento

### Introducción

La agricultura global genera más de 2.000 millones de toneladas de residuos lignocelulósicos al año, cuyo manejo ineficiente contribuye al 8% de las emisiones globales de metano y a la degradación de suelos<sup>1</sup>. En este contexto, La industria del cacao produce 10 millones de toneladas de cáscaras, y, en Colombia, se estima que los residuos de cáscara de cacao alcanzarían las 2.1 millones de toneladas por año en 2021<sup>2</sup>, estos residuos se incineran, lo que genera cargas ambientales, liberando 2.5 kg de CO<sub>2</sub> eq por kg de residuo o se desechan sin tratamiento adecuado en vertederos, causando daños ambientales y enfermedades fitosanitarias<sup>3</sup>.

Este panorama evidencia la urgencia de buscar alternativas sostenibles para el manejo de residuos agrícolas, que no solo mitiguen sus impactos ambientales, sino que además aporten a la recuperación y fertilidad de los suelos. Es así, como la valorización de residuos como las cáscaras de mazorca de cacao transformadas en biochar se presenta como una estrategia prometedora, alineada con los retos actuales de seguridad alimentaria y restauración de suelos que actualmente enfrenta el ser humano para asegurar la sostenibilidad del planeta.

La cáscara de mazorca de cacao conforma el 52-70% del peso húmedo del fruto, es rica en celulosa (35-45%), hemicelulosa (15-25%) y lignina (20-30%), posee propiedades ideales para la producción de biochar; un carbón vegetal rico en carbono y nutrientes minerales como calcio (Ca), potasio (K) y magnesio (Mg), que aplicado al suelo mejora su fertilidad y contribuye al encalado de suelos al aumentar el pH, reduciendo la dependencia de fertilizantes inorgánicos de alto costo, además, de ser una solución ecológica para la gestión de residuos agrícolas<sup>4</sup>. Investigaciones recientes han resaltado que el uso directo de esta biomasa como enmienda presenta riesgos fitosanitarios, mientras que su conversión en biochar conserva los nutrientes, evita la lixiviación y reduce la descomposición, ofreciendo ventajas ambientales y agrícolas<sup>5</sup>.

El biochar se produce mediante pirólisis controlada, sin embargo, no existen estudios profundos sobre el efecto de la temperatura de pirólisis en las variables fisicoquímicas del biochar, es decir, la eficiencia de conversión a biochar, que depende de la temperatura (400-700°C), por ello, la presente investigación propone determinar las condiciones óptimas de producción de biochar a partir de cáscaras de mazorca de cacao, caracterizar sus propiedades estructurales y fisicoquímicas mediante técnicas espectroscópicas y ópticas, y en

estudios posteriores busca evaluar su capacidad de enmienda y efectos en la fertilidad del suelo.

## Materiales y Métodos

### Obtención de materia prima (Residuos de cáscara de mazorca de cacao)

Los residuos de la cáscara de cacao se obtuvieron de diferentes lugares y fincas de los departamentos del Cauca y Nariño (Colombia), posteriormente se cortaron en pequeños trozos y se dispuso en horno de convección a una temperatura de 80 °C durante 20 horas para deshidratarlo.

### Producción de Biochar a partir de los residuos de cáscara de cacao

Se tomó la muestra previamente deshidratada, pulverizada y tamizada, y sometió a proceso de pirólisis a 350, 450 y 550 °C durante 30, 60 y 90 minutos para cada temperatura, se emplearon crisoles de alúmina con tapa, y se dispuso en el interior de una mufla, cada uno con su respectiva temperatura, y, disminuyendo la presencia de oxígeno en cada procedimiento.

### Caracterización del Biochar

Se realizó la caracterización fisicoquímica y estructural de los biochar obtenidos, empleando FTIR-ATR y SEM-EDS, para determinar bajo qué procedimiento de pirólisis se obtiene un Biochar de alta calidad fisicoquímica, estructural, para su posterior estudio capacidad de enmienda tras su aplicación en el suelo.

## Resultados y Discusión

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de biochars obtenidos a partir de la cáscara de mazorca de cacao.

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	RENDIMIENTO (%)	HUMEDAD (%)	pH	CONDUCTIVIDAD (mS)	RETENCIÓN DE AGUA (%)	CENIZAS (%)
350	30	46,0	3,5	11,5	7,8	224,4	24,7
	60	48,2	4,1	8,8	6,1	261,9	13,9
	90	49,2	8,3	9,6	1,9	262,6	12,3
450	30	37,2	5,4	11,2	16,3	229,4	31,3
	60	42,5	7,4	10,2	10,9	255,6	12,2
	90	36,2	10,9	8,3	1,3	278,5	10,4
550	30	36,9	8,6	10,5	12,9	221,5	31,4
	60	36,0	4,8	10,9	15,9	211,6	13,9
	90	32,4	8,5	9,6	1,8	201,9	10,1

Rendimiento: Los valores bajos se presentan cuando la pirólisis se lleva a cabo a una mayor temperatura, ya que la biomasa tiene una pérdida más intensa de la cantidad de compuestos volátiles, sin embargo, hay mayor estabilidad debido al carbono fijo que se forma, por el contrario, un mayor valor significa que aún hay fracciones de compuestos volátiles que a bajas temperaturas de pirólisis se conservan, además, le confiere menos estabilidad.

Humedad: Estos valores se encuentran aproximadamente entre 3-11%, los valores altos significan que los biochar pueden retener mayor cantidad de agua inicial, que al aplicarlo al suelo (como enmienda) puede ayudar con su retención de humedad.

pH: Los valores reportados corresponden a pH alcalinos, es típico de biochars obtenidos a altas temperaturas puesto que hay una mayor concentración de sales minerales, que al aplicarlo a un suelo ácido puede elevar el pH (encalado) mejorando la disponibilidad de nutrientes.

Conductividad: Los valores altos ( $>2$  mS) obtenidos durante pirólisis a elevadas temperaturas pueden indicar la presencia de sales solubles (K, Ca, Mg, Na), sin embargo, cuando se aumenta el tiempo de pirólisis este parámetro disminuye significativamente, puesto que se favorece la formación de fases estables y la encapsulación que limitan la liberación de nutrientes<sup>6</sup>.

Retención de agua: Las cifras indican una muy alta capacidad de retención (valores  $>200\%$ ), lo que sugiere una estructura porosa con capacidad de retener mucha agua relativa a su masa. A temperaturas medias ( $350$ – $450$  °C) la retención mejora con tiempo; a  $550$  °C la retención disminuye con tiempo posiblemente porque la porosidad se modifica (colapso de algunos poros o mayor aromatización que reduce grupos funcionales hidrofílicos).

Cenizas: Altos valores en ensayos a 30 minutos, lo que significa que hay una mayor concentración de minerales inorgánicos en el residuo y disminuyen al aumentar tiempo y temperatura de pirólisis.

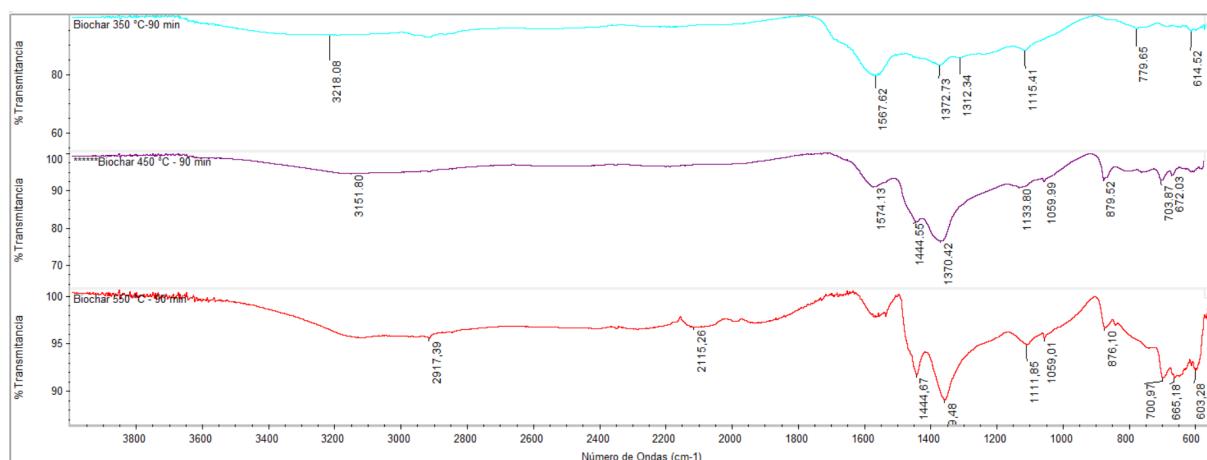


Figura 1. Espectro FTIR-ATR de biochar a 350, 450 y 550 °C a 90 minutos.

En la figura 1 se identificó los grupos funcionales -OH ( $\sim 3218$ – $3130$   $\text{cm}^{-1}$ ), correspondientes a alcoholes, fenoles o agua residual, esta banda se encuentra presente en los tres espectros con una intensidad relativa que disminuye con el aumento de temperatura, se identifican señales de estiramiento C-H alifáticos a  $\sim 2917$ – $2879$   $\text{cm}^{-1}$  presente en todos los espectros con una ligera disminución de intensidad a mayor temperatura, las señales encontradas a  $\sim 1444$ – $1370$   $\text{cm}^{-1}$  corresponden a deformaciones C-H, además de carbonatos y carboxilatos, se observan ligeros cambios y desplazamientos, se asigna el grupo funcional C-O y grupos oxigenados residuales en los tres espectros a  $\sim 1130$ – $1059$   $\text{cm}^{-1}$  aunque la intensidad tiende a disminuir en 550 °C, se encuentran señales fuera del plano correspondientes a C-H de aromáticos a  $\sim 900$ – $700$   $\text{cm}^{-1}$  más definidos a mayor temperatura, debido a que hay una mayor condensación, finalmente las señales a  $\sim 665$ – $603$   $\text{cm}^{-1}$  que corresponden a vibraciones del anillo aromático y además, hay un aumento relativo de señales inorgánicas que pueden corresponder a las cenizas puesto que aumenta la intensidad a mayor temperatura.

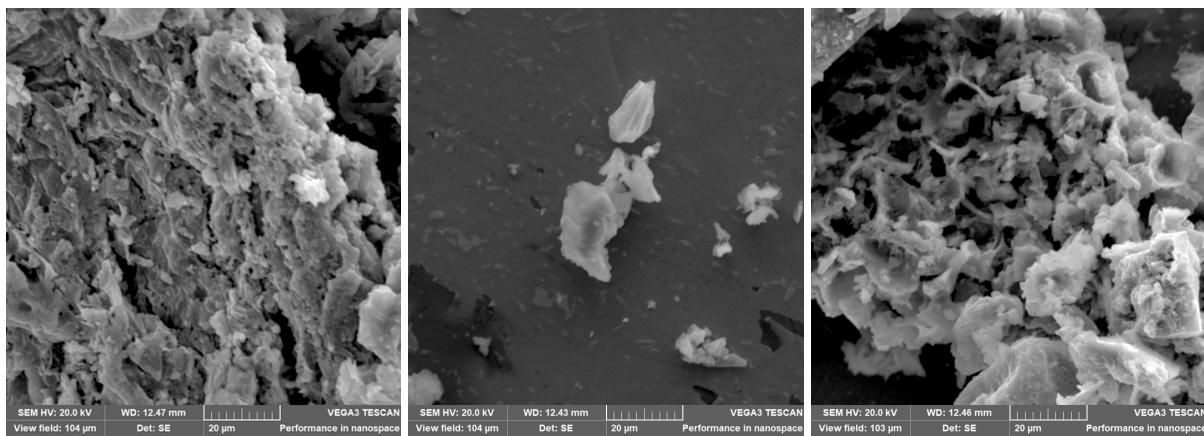


Figura 2. Espectroscopía electrónica de barrido (SEM) de biochar obtenido a 90 minutos a **A.** 350 °C, **B.** 450 °C, **C.** 550 °C.

En la figura 2 se observan SEM a 20μm de cada biochar, en ellos, se observa el cambio morfológico que este tiene, a 350 °C (A) se observa una morfología irregular con microcanales, textura rugosa, aparición de poros y cavidades, a 450 °C (B) se observa láminas delgadas, superficies rugosas y bordes irregulares con porosidad limitada a microgrietas, a 550 °C (C) hay una morfología porosa, con paredes delgadas e irregulares, la aparición de poros es más evidente lo que sugiere mayor área superficial disponible para adsorción donde los microorganismos benéficos del suelo y nutrientes pueden depositarse.

## Conclusiones

Los parámetros fisicoquímicos dan un indicio importante sobre las propiedades de cada biochar y su calidad se determina según las propiedades y requerimientos del suelo que se busca enmendar, sin embargo, a nivel general se tiene que el biochar obtenido a 450 °C y 90 minutos es prometedor puesto que sus propiedades están en un punto medio de lo que se requiere para su aplicativo como enmienda y a su vez el aporte de nutrientes.

## Agradecimientos

Vicerrectoría de Investigaciones (VRI) de la Universidad del Cauca y Laboratorio de biotecnología y nanobiotecnología de la red Tecnoparque SENA- Popayán, Colombia.

## Referencias

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Agricultural waste: Global trends, environmental impacts and future challenges, 2021.
- [2] MARTÍNEZ-ÁNGEL, J. D.; VILLAMIZAR, R.: ORTÍZ, O. O. Characterization and evaluation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk as a renewable energy source. **Agrociencia**, 49(3), 2015.
- [3] MEZA-SEPÚLVEDA, D.; HERNANDEZ, C.; VALENCIA, S. H. Thermochemical characterization of cellulose extracted from the cocoa pod husk of *Theobroma cacao* L. **Industrial Crops and Products**. 226 (120579), 120579, 2025.
- [4] MARÍN ARMIJOS, J.; GARCÍA, R.; BARREZUETA, S. Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano. **Revista Científica Agroecosistemas**, 6(3), 75-81, 2018.
- [5] MWAFULIRWA, L.; SIZMUR, T.; DAYMOND, A.; ATUAH, L.; QUAYE, A. K.; COOLE, S.; ROBINSON, S.; HAMMOND, J.; AWUDZI, G.; AWUNYO, D.; DOMFEH, O.; HADLEY, P. Cocoa pod husk-derived organic soil amendments differentially affect soil fertility, nutrient leaching, and greenhouse gas emissions in cocoa soils. **Journal of Cleaner Production**, 479(144065), 144065, 2024.



64º Congresso Brasileiro de Química  
04 a 07 de novembro de 2025  
Belo Horizonte - MG

[6] GUNES, A.; INAL, A.; ŞAHİN, Ö.; TAŞKIN, M. B.; ATAkol, O.; YILMAZ, N. Variations in mineral element concentrations of poultry manure biochar obtained at different pyrolysis temperatures, and their effects on crop growth and mineral nutrition. **Soil Use and Management**, 31(4), 429–437, 31 (4), 429–437, 2015.