






## Producción de biocarbón a partir de la cáscara de *Theobroma cacao* L., cascarilla de *Oryza sativa* y *Coffea arabica*

Production of biochar from the shell of *Theobroma cacao* L., husk of *Oryza sativa* and *Coffea arabica*

 **Luis Eduardo Oré Cierto**  
Universidad Nacional Agraria de la Selva  
[luisore21793@gmail.com](mailto:luisore21793@gmail.com)

 **Christye Marjorie Silva Guerrero**  
Universidad Nacional Agraria de la Selva  
[christye.silva@unas.edu.pe](mailto:christye.silva@unas.edu.pe)

 **Wendy Caroline Loarte Aliaga**  
Consultor Constructor & Auditor LEOC E.I.R.L.  
[wendy\\_loarte\\_aliaga@outlook.com.pe](mailto:wendy_loarte_aliaga@outlook.com.pe)

### RESUMEN

El biocarbón es un carbón estable y altamente poroso producido por medio de la descomposición térmica de la biomasa, bajo un sistema de suministro limitado de oxígeno (O<sub>2</sub>) y ante temperaturas medias (<700°C); la investigación consistió en producir y caracterizar el biocarbón obtenido a partir de tres tipos de biomasa residual agrícola: cáscara de *Theobroma cacao* L., cascarilla de *Oryza sativa* y cascarilla de *Coffea arabica*; para ello se procesó a la selección y recolección de la biomasa residual, acondicionamiento de la biomasa, diseño y construcción del horno pirolítico a escala, operación y mantenimiento del horno y caracterización del biocarbón a partir de la norma ASTM (1984) D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. Como resultado se tuvo que el rendimiento de la producción de biocarbón a partir de la cascarilla de *C. arabica* fue de 46,05%, cascarilla de *O. sativa* fue de 44,40% y de la cáscara de *T. cacao* fue de 9,70%; el porcentaje de material volátil fue inferior al 30% para los diferentes tipos de biocarbón, en cuanto al porcentaje de ceniza, el biocarbón producido a partir de la cascarilla de *O. sativa* presentó un porcentaje elevado a diferencia del biocarbón de cascarilla de *C. arabica*, que obtuvo un porcentaje mínimo; el biocarbón de la cáscara de *T. cacao* registró el valor más alto con un pH = 9,47. En la conductividad eléctrica se puede apreciar valores extremos desde 0,28 dS/m para el biocarbón de la cascarilla de *O. sativa* hasta un valor promedio de 2,53 dS/m correspondiente al biocarbón producido a partir de la cascarilla de *C. arabica*, por lo que se determinó que existe heterogeneidad en las propiedades fisicoquímicas, composición elemental y características microestructurales del biocarbón relacionado con la materia prima.

**Palabras clave:** Biocarbón, cáscara de cacao, cascarilla de arroz, cascarilla de café.

**ABSTRACT**

Biochar is a stable and highly porous carbon produced through the thermal decomposition of biomass, under a limited oxygen supply system (O<sub>2</sub>) and at medium temperatures (<700°C); The research consisted of producing and characterizing the biochar obtained from three types of agricultural residual biomass: shell of *Theobroma cacao* L., shell of *Oryza sativa* and shell of *Coffea arabica*; For this, the selection and collection of the residual biomass, conditioning of the biomass, design and construction of the scale pyrolytic furnace, operation and maintenance of the furnace and characterization of the biocarbon were processed based on the ASTM (1984) D1762-84 standard: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. As a result, the yield of biocarbon production from the *C. arabica* husk was 46.05%, the *O. sativa* husk was 44,40% and the *T. cacao* husk was 9,70%; the percentage of volatile material was less than 30% for the different types of biochar, in terms of the percentage of ash, the biochar produced from the shell of *O. sativa* presented a high percentage unlike the biochar from the shell of *C. arabica*, which obtained a minimum percentage; the biochar from the shell of *T. cacao* registered the highest value with a pH = 9,47. In electrical conductivity, extreme values can be seen from 0,28 dS/m for the biochar of the *O. sativa* husk to an average value of 2,53 dS/m corresponding to the biochar produced from the *C. arabica* husk. Therefore, it was determined that there is heterogeneity in the physicochemical properties, elemental composition and microstructural characteristics of the biochar related to the raw material.

**Keywords:** Biochar, cocoa shell, rice husk, coffee husk.

**INTRODUCCIÓN**

Una técnica que ha adquirido relevancia en la última década es la aplicación del biocarbón o biochar, que es un producto sólido de pirólisis diseñado para ser utilizado para la gestión ambiental. El biocarbón es característico por su capacidad de fijación de carbono, y su aplicación al suelo mejorara los parámetros físicos, químicos y biológicos. Otros estudios han demostrado que el biocarbón puede reducir la movilidad de los metales en el suelo y su absorción por las plantas. Escalante et al. (2016) mencionan que el biochar o biocarbón es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos con escaso o limitado suministro de oxígeno, lo cual corresponde a un proceso de pirólisis, a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los

700 °C) y que a diferencia del carbón usado como combustible y del carbón activado, el biocarbón es destinado a uso agrícola. Por otro lado, la Iniciativa Internacional del Biochar “IBI” por sus siglas en inglés (2015) define al biochar como un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno. Lehmann y Joseph (2009) definen al biochar como un material carbonizado obtenido a partir de biomasa con alto contenido de carbono, la cual se ha pirolizado en un entorno de oxígeno nulo o muy bajo y mediante procesos sostenibles. Además, mencionan que la producción de biochar resulta similar a la producción de carbón vegetal, que es un proceso conocido desde la antigüedad; sin embargo, la principal diferencia que existe entre el carbón vegetal y el biochar es la finalidad de su



producción. Si el material que ha sido carbonizado se aplica al suelo, ya sea para mejorar propiedades del suelo, almacenar carbono y/o retener agua, recibirá el nombre de biochar.

El biocarbón se produce a partir de la transformación de distintos tipos de biomasa por ejemplo, astillas de madera, estiércol animal y residuos de cultivos; consiguiendo reducir significativamente el volumen y el peso de los materiales de origen. La materia prima usada para la producción del biocarbón tiene distinta capacidad de inmovilización de contaminantes en el suelo y las propiedades deseadas se encontrarán en función a su selección.

Condeña (2017) en su publicación “Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA. HH. Ramón Castilla – Callao 2017”, determinó las propiedades fisico-químicas que presentó el biocarbón producido a partir de residuos biomásicos de bagazo de caña de azúcar describiendo niveles del pH de 8.7 y un porcentaje de lignina de 21.7%, parámetros que influyen en la adsorción de los metales pesados. El estudio concluyó que el biocarbón logró reducir significativamente el Pb en el suelo, alcanzando una eficiencia de 61.09% al aplicar 10% de biocarbón y 61.7% al aplicar 50% de biocarbón, después de un periodo de 45 días.

Bajo este contexto se plantea el objetivo de producir biocarbón a partir de la cáscara de *Theobroma cacao* L., cascarilla de *Oryza sativa* y *Coffea arabica*, Tingo María, Perú - 2021.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características generales del área de estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, políticamente se encuentra ubicado en el distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. La coordenada geográfica es 09° 18' 53" latitud sur y 75° 59' 44" longitud oeste, y una altitud de 660 m.s.n.m.

### Materiales y equipos

Material orgánico o biológico: cáscara de *Theobroma cacao* L. (cacao), cascarilla de *O. sativa* (arroz) y cascarilla de *C. arabica* (café) y material combustible (leña y ramas).

Material de campo: sacos de 50 kg, guantes de latex, botas de jebe, pala, machete, bolsas impermeables.

Materiales e instrumentos de laboratorio: vaso de precipitación, pinzas, crisoles, papel filtro y termómetro digital tipo k.

Equipos de protección personal: guantes de protección térmica, mascarilla de gases y guardapolvo.

Equipos: Microscopio electrónico de barrido TERMOCIENTIFIC Phenon Pro X, pH-metro, Conductímetro, multiparámetro, estufa, mufla, balanza analítica, horno pirolítico.

### Metodología

#### Producción de biocarbón

#### Selección y recolección de la biomasa residual

La biomasa residual para la producción del biocarbón fue obtenida directamente de parcelas de cultivos agrícolas. Los residuos agrícolas de *T. cacao*. (Cacao) fueron obtenidos de las parcelas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, los residuos

agricolas de *C. arabica* (café) fue recolectado de una parcela en el disitrito de Hermilio Valdizan, provincia de Leoncio Prado y los residuos de *O. sativa* (arroz) fueron recolectados de una parcela en el distrito de Uchiza, provincia de Tocache.

Se tomaron muestras homogéneas mediante recolección manual por cada tipo de biomasa residual, considerando su tamaño y volumen. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Tratamiento de la contaminación del suelo de la Universidad Nacionl Agraria de la Selva, completamente envueltas para evitar cualquier tipo de contaminación durante esta etapa.

#### Acondicionamiento de la biomasa residual

Las muestras recolectadas fueron secadas a temperatura ambiente, dependiendo del estado de humedad de cada una. Según Mcelligott et al. (2011) el contenido de humedad de la materia prima no debe ser mayor al 10%. En el caso del *T. cacao* debido a su alto contenido de humedad, fue llevada a la estufa durante 48 horas en un rango de temperatura de 70 – 80 °C (Guerra, 2015). Las muestras que presentaron regular tamaño y dureza se fraccionaron en partes más pequeñas para asegurar que el nivel de pirólisis sea completa.

#### Construcción de un horno pirolítico a escala

Guerra (2015) el horno pirolítico consistió en dos tambores cilíndricos de metal, uno de menor tamaño al interior del otro, donde se realizó el proceso de pirólisis para la producción de biocarbón a partir de diferentes tipos de biomasa residual.

El horno pirolítico presentó los siguientes componentes:

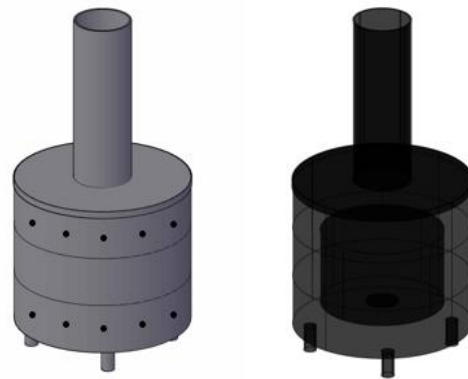
- Tambor cilíndrico interno: que es la cámara interna del horno pirolítico para la colocación de la materia prima, con un orificio de 4 cm de

diámetro en la base inferior cubierto con malla metálica.

- Tambor cilíndrico externo: que es la cámara de combustión externa del horno pirolítico, cuenta con orificios pequeños alrededor de horno en la parte superior e inferior para la ventilacion y la medición de la temperatura interna.
- Tapas de acero: son estructuras de acero en forma circular que sirvieron para sellar ambos tambores cilindricos, en el cual se acondicionó una chimenea de ventilación por la parte superior del tambor cilíndrico externo.

#### Figura 01

*Horno pirolítico para la producción de biocarbón*



#### Funcionamiento del horno pirolítico

La biomasa residual seca fue introducida en el tambor interno del horno, en el cual se llenó por completo y se cubrió con la tapa, posteriormente se colocó dentro de la camara o tambor externo. Entre los dos tambores existe un espacio libre que sirve para llenar los materiales combustibles como: ramas, leña, hojas secas, entre otros y se procedió a producir fuego y colocar la tapa de la camara externa. El proceso de pirólisis se realizó en un promedio de 10 a 12 horas, monitoreando constantemente la temperatura. Al terminó del proceso se enfrió el sistema durante un periodo de 8 horas y finalmente el producto que contiene la camara interna es el biocarbón resultante.

### Caracterización del biocarbón

**Análisis proximal.** Se analizaron las muestras de biocarbón obtenidas a partir de los diferentes tipos de biomasa residual, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM (1984) D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. Se realizó un proceso de molienda de los trozos de biocarbón con un mortero de porcelana, luego fueron tamizadas y se realizaron los análisis que se detalla a continuación:

**Contenido de humedad.** Se colocó 5 g de muestra de biocarbón obtenido en una cápsula y fueron llevadas a secar a 105 °C hasta un peso constante, para luego registrar el peso final. El contenido de humedad de las muestras de biocarbón se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \left[ \frac{(P_i - P_s)}{P_i} \right] \times 100$$

Donde:

$P_i$  = Peso inicial

$P_s$  = Peso seco después de secar a 105 °C

**Contenido de material volátil.** Se colocó en un crisol 1 g de la muestra de biocarbón previamente secado, luego los crisoles se introdujeron dentro de la mufla a 950 °C y se dejaron por un espacio de 6 minutos. Culminado el tiempo se retiró los crisoles y se colocó en una campana desecadora. El contenido de materia volátil de las muestras de biocarbón se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Materia volátil (\%)} = \left[ \frac{(P_s - P_v)}{P_s} \right] \times 100$$

Donde:

$P_v$  = Peso seco de la muestra después de somerlo a 950 °C

$P_s$  = Peso seco de la muestra después de secar a 105 °C

**Contenido de cenizas.** Se colocaron las muestras que fueron utilizadas para la determinación de materia volátil dentro del horno de mufla a 750°C durante 6 horas. Después de haber culminado el tiempo se retiró y se colocó en una campana desecadora, dejándolo enfriar por espacio de 1 hora, hasta su incineración total observando el color blancuzco de las cenizas.

El contenido de cenizas de las muestras de biocarbón se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ceniza (\%)} = [P_c - P_v] \times 100$$

Donde:

$P_c$  = Peso cenizas después de 750 °C

$P_v$  = Peso seco de la muestra después de somerlo a 950 °C

**Análisis de las propiedades físicas y químicas.** Se llevaron a cabo los análisis del biocarbón obtenido a partir de los diferentes tipos de biomasa residual, con la finalidad de determinar las propiedades fisicoquímicas de dichos productos tales como: el nivel de pH, la conductividad eléctrica y la densidad aparente.

### Tabla 01

*Métodos empleados en el análisis fisicoquímico del biocarbón.*

Parámetros físicos-químicos	Método
pH	Potenciometría relación biochar – agua 1:2,5 (Thomas, 1996).
Conductividad eléctrica	Potenciometría relación biochar – agua 1:2,5 (Thomas, 1996).
Densidad Aparente	Método de la probeta.

**Análisis de composición elemental.** La composición elemental del biocarbón se determinó

mediante un análisis con el microscopio electrónico de barrido (MEB) con detector de





energía dispersa de rayos x (EDS), que permite la identificación de los elementos que integran la superficie de la muestra. Para ello se utilizó una porción uniforme de los diferentes tipos de biocarbón, posteriormente llevarlo para su análisis en el Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

**Análisis de microfotografía electrónica.** Las características microestructurales del biocarbón fueron analizados por microscopía electrónica de barrido (MEB), esta técnica usa un haz de electrones para formar una imagen, que permite observar las características microestructurales de las muestras del biocarbón por su elevada resolución y visualización tridimensional (Lehmann y Joseph, 2009). Para ello se utilizó una porción uniforme de los diferentes tipos de

biocarbón que se ha producido, posteriormente se le ha llevado para su análisis en el Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

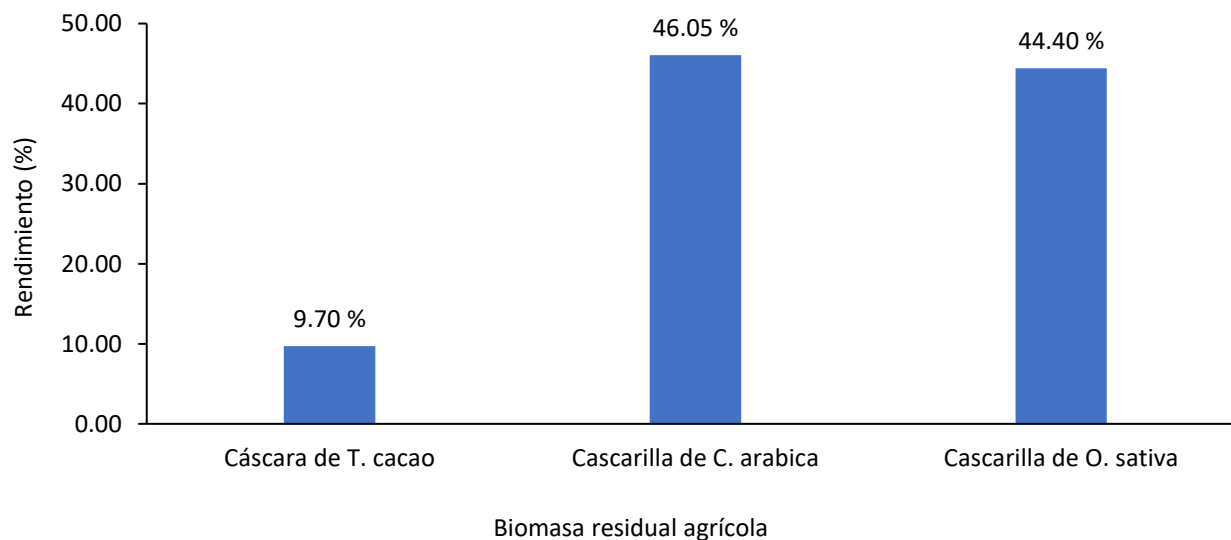
### Producción y caracterización del biocarbón obtenido a partir de biomasa residual agrícola

#### Rendimiento de la producción de Biocarbón

Se registró que de los tres tipos de biomasa residual agrícola utilizada para la producción de biocarbón, dos de ellas, la cascarilla de *C. arabica* y *O. Sativa* alcanzaron rendimientos muy cercanos al 50%, mientras que, en el caso del biocarbón de la cáscara de *T. cacao*, el rendimiento fue muy bajo debido a que no llegó ni al 10,0% de producción de biocarbón.

**Figura 02**

*Rendimientos en la producción del biocarbón*



El efecto del tipo de biomasa utilizada va a depender por su contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, ya que la descomposición de estos compuestos varía en ciertos rangos de temperatura y se ve influenciado en el rendimiento del biocarbón (Zheng et al., 2012). Así mismo,

Garaycochea (2020) determinó que el rendimiento de biocarbón es inversamente proporcional al contenido de humedad del material precursor, obteniendo un 9,58% de humedad y rendimiento de 40,31% para el biocarbón de la cascarilla de *O. Sativa*.

**Análisis proximal**

El biocarbón obtenido a partir de los tres tipos de biomasa residual agrícola registró un contenido de humedad bajo, que fue inferior al 10%, siendo el biocarbón producido a partir de la cáscara *T. cacao* con 6,08%, el de mayor porcentaje de humedad. El porcentaje de material volátil fue inferior al 30%

**Tabla 02***Análisis proximal de los diferentes tipos de biocarbón*

Bioamasa residual	Humedad (%)	Materia volátil (%)	Ceniza (%)
Cáscara de <i>T. cacao</i>	6,08	28,69	18,44
Cascarilla de <i>C. arabica</i>	2,89	27,17	3,24
Cascarilla de <i>O. sativa</i>	3,23	24,04	38,20

El biocarbón presentó un bajo contenido de humedad menor al 10% y se relaciona directamente proporcional al contenido de humedad de su materia prima. El porcentaje de humedad en el biocarbón de *T. cacao* fue de 6,08% (Guerra, 2015) y en el biocarbón de la cascarilla de *O. Sativa* fue de 3,3% (Belalcazar, 2013) similar a los valores obtenidos en el presente estudio.

Guerra (2015) describe que existe un efecto significativo del tipo de materia prima sobre el contenido de material volátil, registrando valores inferiores al 40% en los diferentes tipos de biocarbón que obtuvo a partir de diferentes tipos de biomasa residual de sistemas agroforestales, donde el valor más alto de 32,04% fue en el biocarbón de la cáscara de *T. cacao*; de acuerdo a los resultados del presente estudio se coincide al no sobrepasar el 40% de contenido de material volátil y el valor más alto de 28,69% registró en el biocarbón de la cáscara de *T. cacao*.

La cantidad y la composición de la ceniza puede influir sobre ciertas características deseadas en el biocarbón (IBI, 2013). En el presente estudio el biocarbón de *C. arabica* presentó un bajo

para los diferentes tipos de biocarbón. En cuanto al porcentaje de ceniza, el biocarbón producido a partir de la cáscarilla de *O. sativa* presentó un porcentaje elevado a diferencia del biocarbón de cascarilla de *C. arabica*, que obtuvo un porcentaje mínimo.

contenido de ceniza de 3,24% y mantiene relación al 3,1% obtenido por Herrera et al. (2018).

Por otro lado el biocarbón de *O. sativa* presentó un alto contenido de ceniza de 38,20% que se diferencia a lo obtenido por Guevara (1995), citado por Quinceno y Mosquera (2010) con valores de 13,06%.

**Análisis de las propiedades fisicoquímicas del biocarbón**

La suspensión biocarbón - agua presentó pH de neutro a básico, el biocarbón de la cáscara de *T. cacao* registró el valor más alto con un pH = 9,47. En la conductividad eléctrica se puede apreciar valores extremos desde 0,28 dS/m para el biocarbón de la cascarilla de *O. sativa* hasta un valor promedio de 2,53 dS/m correspondiente al biocarbón producido a partir de la cascarilla de *C. arabica* (Tabla 7).

La densidad aparente más baja fue la del biocarbón de cascarilla de *O. sativa* de 0,34 gr/cm<sup>3</sup> y la más alta del biocarbón de cascarilla de *C. arabica* 0,54 gr/cm<sup>3</sup>, muy similar a la densidad aparente del biocarbón de la cáscara del *T. cacao* 0,51 gr/cm<sup>3</sup> (Tabla 7).

**Tabla 03***Propiedades fisicoquímicas de los tipos de biocarbón*

Bioamasa residual	pH	CE (ds/m)	DA (gr/cm <sup>3</sup> )
Cáscara de <i>T. cacao</i>	9,47	1,15	0,51
Cascarilla de <i>C. arabica</i>	8,67	2,53	0,54
Cascarilla de <i>O. sativa</i>	7,44	0,28	0,34

CE: Conductividad eléctrica; DA: Densidad aparente.

El pH es una propiedad muy importante debido a que es un determinante directo de los efectos en la relación suelo – biocarbón– planta y estará en función a la materia prima originaria y de las condiciones operacionales (Mcelligot et al., 2011). En el presente estudio la media de pH fue 8.5, que guardan relación a lo descrito por Escalante et al. (2016) con una media de pH de 8,1. Otros análisis realizados al biocarbón de la cascarilla de *O. sativa* reportan valores altos de pH de 8,72 (Belalcazar, 2013) y de 8,30 (Garaycochea, 2020) superiores a lo obtenido en el presente estudio.

La conductividad eléctrica fue superior a 1 000  $\mu\text{S/cm}$ , a excepción del biocarbón derivado de la cáscara de *O. sativa* ( $\leq 300 \mu\text{S/cm}$ ), valores similares a lo descrito por Lehmann & Joseph (2009). Así mismo, Garaycochea (2020) describe que la conductividad eléctrica presenta diferencias significativas en los tipos de biocarbón, registrando un valor alto para el biocarbón de *C. arabica* (5010  $\mu\text{S/cm}$ ), significativamente mayor al biocarbón de *O. sativa* (740  $\mu\text{S/cm}$ ).

En el presente estudio se guarda la misma relación pero se presentó el valor mas alto (1150  $\mu\text{S/cm}$ ) en el biocarbón de *T. cacao*.

Mcelligott et al. (2011) menciona que una característica general del biocarbón es una densidad promedio de 0,3  $\text{mg/m}^3$ , esto se explica por su naturaleza porosa.

De acuerdo a los valores obtenidos se observa una heterogeneidad en la densidad aparente, el

biocarbón de *T. cacao* presenta un valor de 0,51  $\text{mg/m}^3$ , superior a lo descrito por Guerra (2015) que determinó una densidad aparente de 0,245  $\text{mg/m}^3$ .

### **Análisis de la composición elemental del biocarbón**

En la Figura 9 se presenta el porcentaje de elementos en las zonas superficiales de las muestras de biocarbón, en la que predomina el carbono y oxígeno.

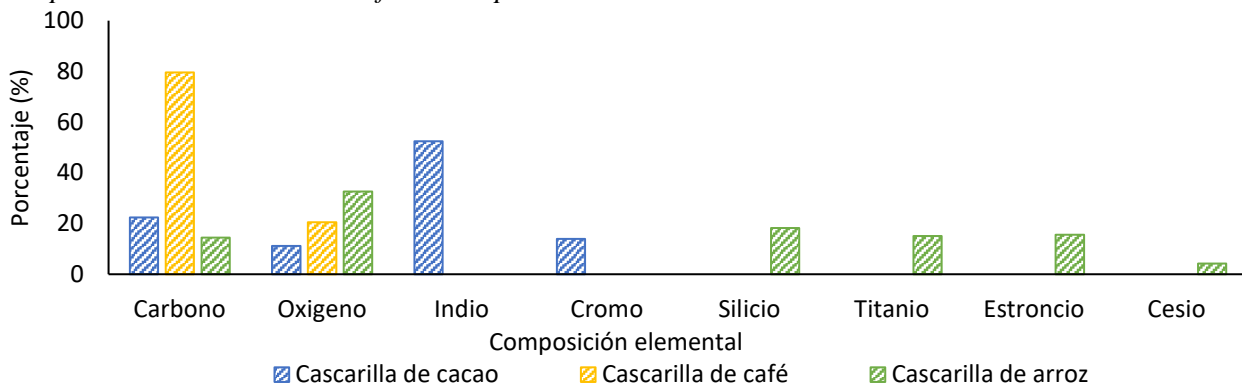
El biocarbón derivado de la cáscarilla de *C. arabica* tiene el mayor porcentaje de carbono (79,96%) y el oxígeno esta presente en mayor porcentaje en el biocarbón de la cascarilla de *O. sativa* (32,63 %). En el análisis del biocarbón de la cascarilla de *O. sativa* se registró un porcentaje elevado de silicio (38.20%), debido a la composición teórica de su materia prima, ya que es un elemento que no sufre disociación ante la incineración de las muestras.

Además en el biocarbón de la cascarilla de *O. sativa* se presentaron elementos como tianio (15,12%), estroncio (15,60%) y cesio (4,26%) y en caso de la cascarilla de *C. arabica* se logró observar contenidos de elementos como el indio (52,49%) y el cromo (13,95%).



**Figura 03**

*Composición elemental de los diferentes tipos de biocarbón*



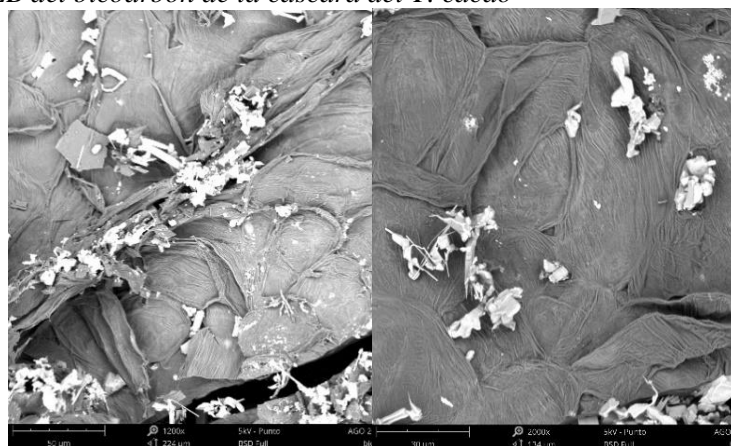
La composición del biocarbón va a depender de las condiciones en las que se produce la pirólisis y la materia prima, produciendo diferencias significativas en el contenido y disponibilidad de los nutrientes para las plantas (Gaskin et al., 2007). Herrera et al. (2018) determinaron altos porcentajes de carbono y oxígeno, y adicionalmente Na, K, Ca, Mg, Si, Al, S, P en mínimos porcentajes en muestras de biocarbón a partir de diferentes materias primas.

**Análisis de microfotografía electrónica del biocarbón**

En la Figura 04 se observa las características microestructurales del biocarbón de la cáscara de *T. cacao*, en la imagen de magnificación de 1200x, se puede evidenciar una estructura con escasos poros, heterogeneidad de las fibras lignocelulósicas, ruptura y falta de orden en la organización y dirección. En la imagen de magnificación de 2000x se observa que las fibras tienen enlaces resistentes, puesto que no hay espacios entre sí.

**Figura 04**

*Microfotografía de MEB del biocarbón de la cáscara del T. cacao*



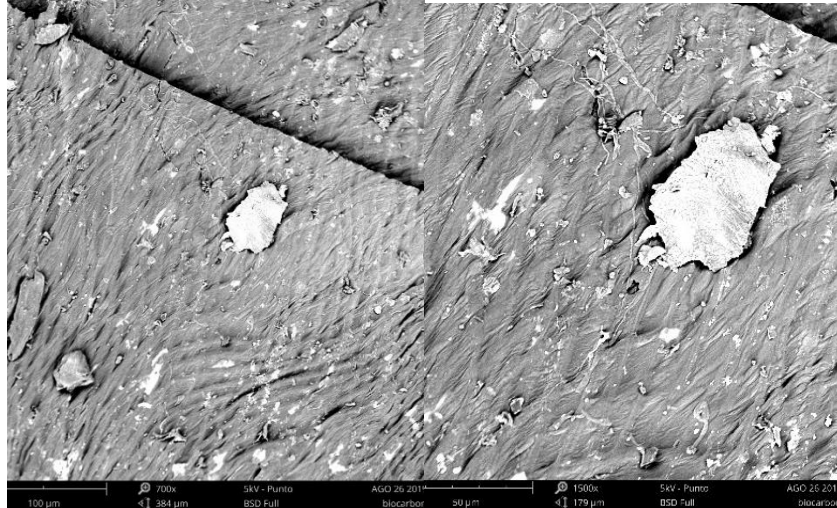
En la Figura 05 se observa las características microestructurales del biocarbón producido a partir de la cáscara de *C. arabica*, en la imagen de magnificación de 700x y de magnificación de

1500x, se puede apreciar que existe una cantidad significativa de poros muy pequeños que tienen formas alargadas. Asimismo, se aprecia partículas de gran tamaño, pero de forma irregular, que

podrían atribuirse a las cenizas, como un residuo sólido que contiene especies no combustibles, y que están unidas a la superficie del biocarbón.

**Figura 05**

*Microfotografía de MEB del biocarbón de la cáscara del C. arabica.*

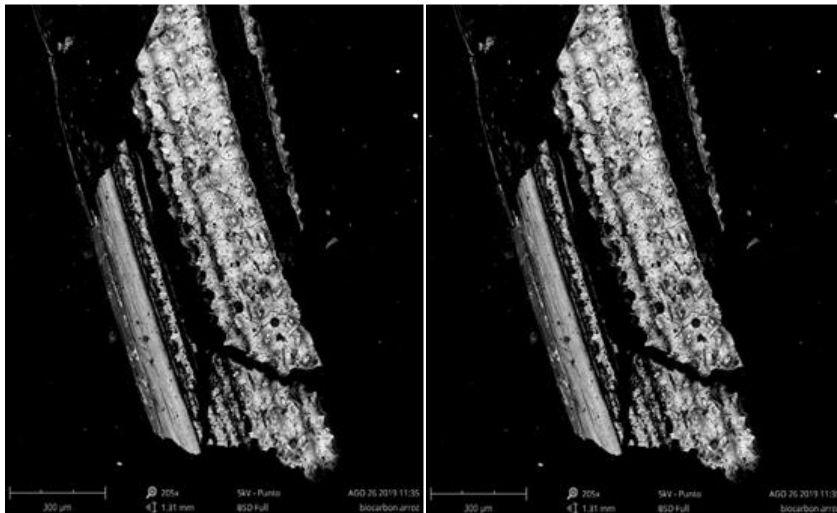


En la Figura 06 se observa las características microestructurales del biocarbón de la cáscarilla de *O. sativa*. En la imagen de magnificación de 205x se observan formas de picos y surcos en la superficie, además de un fraccionamiento de la

muestra y rompimientos entre las fibrillas. En la imagen de magnificación 1000x se puede apreciar la porosidad (microporos) con formas y tamaños diversos que están localizados en la superficie del biocarbón.

**Figura 06**

*Microfotografía de MEB del biocarbón de la cascarilla del O. sativa*



El biocarbón está conformado por partículas de diferentes tamaños, lo que depende de la fuente y tamaño de la bioamasa (Lehmann et al., 2011). La distribución del tamaño de partículas depende de la

materia prima y la temperatura de producción, lo que ocasiona un desgaste del material orgánico durante el proceso térmico (Olmo, 2016).

## CONCLUSIONES

El biocarbón obtenido a partir de la cascarilla de *O. sativa* y *C. arabica* presentó altos rendimientos de producción. Existe heterogeneidad en las propiedades fisicoquímicas, composición elemental y características microestructurales del biocarbón relacionado con la materia prima.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Al-Wabel, M., Usman, A., El-Naggar, A., Aly, A., Ibrahim, H., Elmaghraby, S., Al-Omran, A. (2015). Conocarpus biocarbón as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi J Biol Sci*, Arabia Saudita, 22(4), 503-511.
- [2] ASTM. (1984). Standard D1762-84; Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D176284R95E1.htm>
- [3] Awolunate, E.O. (1983). Chemical composition and potential uses of processing wastes from some Nigerian cash crops. *Turrialba, Costa Rica*, 33(4), 381-386.
- [4] Belalcazar, S. (2013). Evaluación del biocarbón derivado de cascarilla de *O. sativa* como potenciador del establecimiento y proliferación de bacterias en suelos no perturbados. [Tesis Biología. Santiago de Cali, Colombia. Universidad ICESI]. 59 p.
- [5] Bhatnagar, A., Hogland, W., Marques, M., Sillanpää, M. (2013). An overview of the modification methods of activated carbón for its water treatment applications. *CHEM ENG J*, Netherlands, 219, 499-511.
- [6] Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J., Harris, E., Robinson, B. y Sizmur, T. (2011). A review of biochars potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution*, Reino Unido, 159(12), 3269-3282.
- [7] Calzada, J. (1970). Métodos estadísticos para la investigación. Lima, Perú. 643 p.
- [8] Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B., Haefele, S. (2013). The Impact of Biochar Application on Soil Properties and Plant Growth of Pot Grown Lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). *Agron J*, Switzerland, 3(2), 404-418.
- [9] Condeña, E. (2017). Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA.HH Ramón Castilla – Callao 2017. [Tesis Ing. Ambiental. Lima, Peru. Universidad Cesar Vallejo]. 90 p.
- [10] De La Cruz, L. (2018). Eficiencia del biocarbón a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV, 2018. [Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. Universidad Cesar Vallejo].
- [11] Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Collado, Campo, J., Valtierra, E., Etchevers J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, México, 34(3), 367-382.
- [12] Garaycochea, A. (2020). Remoción de la demanda química de oxígeno del agua residual del procesamiento del café mediante bioadsorbentes derivados de residuos agrícolas. [Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. Universidad Científica del Sur].
- [13] Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., Bibens, B. (2007). Effect of low-temperature pyrolysis conditions. *ASABE*, United States, 51(6), 2061-2069.
- [14] Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W. (2000). Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon. *Org. Geochem*, United Kingdom, 31(7-8), 669-678.
- [15] Graziani, L., Ortiz, J., Angulo. (2002). Características físicas del fruto de cacao tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agron. trop.*, Venezuela, 53(3), 325-342.
- [16] Guerra, L. (2015). Producción y caracterización de Biocarbón a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonia

- Peruana. [Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina].
- [17] Herrera, E., Feijoo, C., Alfaro, R., Solis, J., Gomez, M., Keiski, R., Cruz, G. (2018). Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (Sapote). *Sci. Agropecu.*, Trujillo, 9(4), 569-577.
- [18] Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- [19] IBI (International Biochar Initiative). (2015). *Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil*. IBI. <https://biochar-international.org/characterizationstandard>
- [20] Kookana, R.S., Sarmah, A.K., Van Zwieten, L., Krull, E., Singh B. (2011). Biochar application to soil: Agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Adv. Agron.*, San Diego, CA, 112, 103-143.
- [21] Lehmann, J., Gaunt, J. y Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitg. Adapt. Strat. Glob. Change.*, Netherlands. 11: 403-427.
- [22] Lehmann, J., Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: science and technology*. Eartscan.
- [23] Lehmann J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota- a review". *Soil Biol. Biochem.*, United Kingdom, 43, 1812-1836.
- [24] Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Neves, E. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, United States, 70(5), 1719-1730.
- [25] Manya, J. J. (2012). Pyrolysis for biocarbón purposes: A review to establish current knowledge gaps and research needs. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 7939-7954.
- [26] Mcelligott, K., Page-Dumroese, D., Coleman, M. (2011). Bioenergy production systems and biochar application in forests: potential for renewable energy, soil enhancement, and carbon sequestration. Forest Service. [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_rn046.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_rn046.pdf)
- [27] Mclaughlin, H., Anderson, P., Shields, F., Reed, T. (2009). All biocarbóns are not created equal, and how to tell them apart: Terra Petra. <http://terrapreta.bioenergylists.org/files/All-Biochars--Version2--Oct2009.pdf>
- [28] Montoya, J. (2014). *Pirólisis rápida de biomasa*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/281976634\\_Pirólisis\\_rapida\\_de\\_biomasa](https://www.researchgate.net/publication/281976634_Pirólisis_rapida_de_biomasa)
- [29] Namakforoosh, M. (2005). *Metodología de la investigación*. Limusa.
- [30] Olmo, M. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal*. [Tesis Dr. Córdoba, España. Universidad de Cordoba].
- [31] Prada, A., Cortes, C.E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, Colombia, 14(1), 155-170.
- [32] Puga, A. P., Abreu, C. A., Melo, L. C., Beesley, L. (2015). Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. *J. Environ. Manage*, United States, 159(1), 86-93.
- [33] Quinceno, D., Mosquera, M.Y. (2010). *Alternativas ecológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible* [Tesis Ing. Mecanico, Universidad Autónoma del Occidente].
- [34] San Miguel, G., Gutiérrez, F. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Mundi Prensa.
- [35] Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. In: L.S. Donald (Ed.). *Adv. Agron.*, San Diego, CA, 105, 47-82.
- [36] Tamayo, C., Muñoz, M. (2020). *Estudio de biochar obtenido a partir de cáscara de cacao, como mejorador del suelo en un cultivo de frejol (Phaseolus vulgaris)* [Tesis Ing. Química, Universidad Central de Ecuador].



- [37] Thomas, G. (1996). *Methods of soil analysis; Chemical Methods*. United States of América, Madison, Wis.
- [38] Uchimiya, M., Klaso, K., Forter, C., Lima, I. (2011). Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biocarbón amendment: 2. Copper desorption isotherms. *Chemosphere, England*, 82(10), 1438-1447.
- [39] Westerman, R. (1990). *Soil testing and plant analysis*. Madison, WI, USA. Soil Sciencie Society of America.
- [40] Yu, X., Ying, G., Kookana, R. (2006). Sorption and desorption behaviors of diuron in soils amended with charcoal. *J. Agric. Food Chem., EE.UU*, 54(22), 8545-8550. [http://en.jaas.ac.cn/upload\\_linkfile/day\\_141229/201412291312429678.pdf](http://en.jaas.ac.cn/upload_linkfile/day_141229/201412291312429678.pdf)
- [41] Zheng, J.Y., Stewart, C.E., Cotrufo, M.F. (2012). Biochar and nitrogen fertilizer alters soil nitrogen dynamics and greenhouse gas fluxes from two temperate soils. *J. Environ. Qual., United Sates*, 41(5), 1361-1370.