

## **POTENCIALIDADES AGROINDUSTRIALES Y AMBIENTALES DEL BIOCARBÓN A PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ**

Shadia López Zawada<sup>a</sup>, Yisela Moreno Ospina<sup>b</sup>, José Alexander Rodríguez<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Estudiante, Administración Ambiental, Facultad de Ciencia Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia

<sup>b</sup>Docente/Investigador, Grupo de Agroecosistemas Tropicales Andinos, Facultad de Ciencia Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, La Julita, Pereira, Risaralda, Colombia

<sup>c</sup>Bioecos, Facultad Medicina Veterinaria y Zootecnia, Fundación Autónoma de la Américas, Avenida Sur 98-56, Pereira, R/da, Colombia.

\* Correspondencia autor:

E-mail: pauloalejo@utp.edu.co. Tel: (57) 0363222565647.

## **POTENCIALIDADES AGROINDUSTRIALES Y AMBIENTALES DEL BIOCARBÓN A PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ**

### **RESUMEN**

En la historia del café y su manejo cultural se conocen afectaciones sobre la calidad del medio natural por actividades como el despulpado la cual es una de las mayores generadoras de residuos sólidos como la pulpa, que constituye el desecho de gran magnitud, asimismo, el requerimiento de grandes volúmenes de agua implica el retorno de la misma como aguas residuales con unas condiciones físico-químicas distintas a las iniciales y a las que presenta el cuerpo de agua receptor, alterando las condiciones ambientales y el equilibrio de los ecosistemas terrestres y acuáticos circundantes a la zona donde se llevan a cabo actividades de caficultura. Para subsanar los efectos del problema ambiental anteriormente citado se propuso para este trabajo efectuar una aproximación de las aptitudes físico-químicas que presenta el biocarbón como producto del aprovechamiento y transformación térmica de la pulpa de café, para su integración como estrategia de producción más limpia en el sector agropecuario. Se realizó una revisión de artículos en la web que abordaran el tema producción de biocarbón con biomásas vegetales y se analizó mediante con estadística descriptiva y conglomerados con ayuda del software Infostat obteniendo así las similitudes entre las biomásas a partir de la cuales se produce el biocarbón, agrupándolas para facilitar la identificación de los posibles usos relacionados con sus propiedades físico-químicas. La revisión bibliográfica posibilitó la obtención de 32 biocarbones elaborados a partir de biomásas de diversos tipos, para facilitar el manejo de la información se hizo necesario agruparlos en 10 grupos en función de la similaridad de sus biomásas. Del análisis descriptivo se pudo identificar las semejanzas entre los grupos de biocarbones estudiados y el de pulpa de café, con relación al contenido de macronutrientes hubo mayor concordancia en cuanto al contenido de fósforo, calcio, nitrógeno, azufre y sodio; los elementos correspondientes a micronutrientes se presentó disimilitud frente a los datos del hierro, manganeso y zinc siendo fundamentales para el funcionamiento enzimático y la efectividad de los cultivos, además de presentarse valores inferiores con respecto al cobre, indispensable para el ciclo de vida de las plantas y la producción de semillas. El análisis de las características físicoquímicas solo se presentó similitud con la variable pH dado por la alcalinidad de la mayoría de los biocarbones. La retención de contaminantes en el suelo, la fertilidad con el fin de obtener un mayor rendimiento y eficiencia en los cultivos aportando nutrientes esenciales para el sistema suelo y la mitigación del cambio climático por su capacidad de captura y retención del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) fueron los usos identificados a partir del análisis anterior. De este estudio se pudo concluir que el biocarbón de pulpa de café presenta similitudes con algunos de los datos especificados de los elementos que componen los macronutrientes, micronutrientes y características físico-químicas de los diferentes biocarbones, esto permitió determinar aquellas variables significativas para la caracterización de los usos con los que cuenta o que puede potencializar el biochar de pulpa de café.

### **PALABRAS CLAVES**

Caficultura, pirólisis, biomasa, análisis estadístico, alternativa ambiental.

## INTRODUCCIÓN

El proceso tradicional del beneficio del café colombiano se ha diferenciado de aquellos que son desarrollados en otros países productores debido a las condiciones naturales y ambientales que se tienen en el territorio, logrando así el reconocimiento a nivel mundial por su calidad y convirtiéndolo en un orgullo patrio (Cenicafé, 2016), sin embargo esta distinción trae consigo efectos representativos y no muy favorables que se manifiestan en el deterioro ambiental del territorio, el uso intensivo del suelo y la implementación de productos químicos como herbicidas, insecticidas y fertilizantes son algunos de los causantes de la degradación, sin embargo existen otros elementos no antrópicos que generan impactos sobre el ambiente y son aquellos que provienen de la misma planta de café convertidos en subproductos durante el proceso del beneficio del mismo, entre ellos se encuentra la pulpa y el mucílago, los cuales son dispuestos inadecuadamente afectando suelos y cuerpos de agua, siendo los responsables de las tres cuartas partes de la contaminación potencial que se puede producir en los beneficiaderos de café (Cenicafé, 2016).

El reto está en generar una alternativa de solución que promueva el aprovechamiento de la pulpa de café de forma sostenible, considerada como un producto con potencialidades para ser integrado en otras o en la misma cadena productiva, saliendo del paradigma del modelo convencional de flujo y energía lineal y así poder integrarlo a un nuevo modelo de recirculación de residuos como materia prima apostándole al desarrollo sostenible, a la prosperidad económica y equidad social sin perjudicar el ambiente, esto permite asociar la labor del Administrador Ambiental, quien demuestra sus capacidades en la identificación de las problemáticas y oportunidades ambientales a partir de un enfoque holístico, sistémico e interdisciplinario; participando en el diseño y operación de tecnologías limpias en pro de la minimización de los impactos ambientales.

Por lo anterior se plantea el estudio de un subproducto derivado del beneficio del café como lo es la pulpa que cumpla con las características y necesidades requeridas para su reincorporación a procesos productivos bajo la noción de la economía circular. El biocarbón elaborado a base de pulpa de café es considerado como una opción que puede contribuir con la sostenibilidad ambiental, económica y productiva de la sociedad. La producción de biocarbón es un proceso donde se lleva a cabo la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno, proceso denominado pirólisis, el cual potencializa las propiedades físico-químicas de los materiales que produce como lo son gases, sólidos y líquidos (Lehmann y Joseph, 2015).

El producto sólido denominado biocarbón o biocarbón es utilizado en diversas actividades agrícolas e industriales, como potencializador de la fertilidad y calidad de los suelos, descontaminación de metales pesados presentes en suelos y aguas, adsorción de gases contaminantes, reducción de emisiones de efecto invernadero, producción de energía y como materiales en procesos industriales (Bernardo, Lapa, Gonçalves, Mendes y Pinto, 2012; Lehmann y Joseph, 2015), entre otros usos por descubrir dado que se considera un área de investigación reciente y con importantes aportes en el marco de la economía circular, por ser el biocarbón un producto que utiliza residuos provenientes de los sectores agrícolas, pecuarios, forestales, industrial y urbanos como materia prima, aprovechando los gases para el procesamiento y activación del producto principal. En el caso de la pulpa de café Bressani (1978) afirma según estudios que esta se puede utilizar como fertilizante orgánico por su alto

contenido de nutrientes y así como también para la producción de gas biológico, otros investigadores han realizado grandes avances respecto a estudios específicos para la utilización de la pulpa de café como alimento para rumiantes.

Cabe resaltar que en Colombia tanto la investigación como los procesos de elaboración de biocarbón no han tenido un estudio y aplicabilidad tan relevante como los que se han llevado a cabo en otros países. Sin embargo, es de resaltar el interés que se ha generado entre la comunidad académica-científica por el desarrollo investigativo que se ve reflejado en tesis doctorales como la de Reyes (2018), trabajos de grados como los presentados por Reina (2018) y Montoya (2016), así como también se incluyen otros estudios de carácter científico como los artículos elaborados por Pérez et. al (2015) y Sánchez et. al (2020), documentos en los que se describe el proceso de elaboración, composición y aplicabilidad del biocarbón en distintas instancias y los beneficios y restricciones que esto conlleva.

Por medio de este trabajo de grado se pretende contribuir con nuevos hallazgos que amplíen el campo de estudio e investigación sobre el biocarbón, para ello fue necesario en primera instancia, realizar una fundamentación teórica que permitiera contextualizar y dar a conocer los temas esenciales para el desarrollo de esta investigación. Posteriormente se expone la metodología, la cual consistió en la identificación de las propiedades físico-químicas del biocarbón de pulpa de café por medio de la revisión sistemática en sitios web de artículos investigativos asociados a temas de producción y caracterización de biocarbones, esto permitió la construcción de una base de datos que sirviera de insumo para llevar a cabo su análisis descriptivo. La implementación de técnicas como la de conglomerados y análisis de varianza facilitaron la definición de los posibles usos agrícolas del biocarbón pudieron establecer los beneficios ambientales que ofrece el biocarbón objeto de estudio.

## **METODOLOGÍA**

### **CONSIDERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS LOS BIOCARBONES**

La obtención de información referente a las propiedades físico-químicas de los bicarbones estudiados, se realizó mediante una revisión sistemática en sitios web, bases de datos como ScienceDirect y Google Académico. La búsqueda sistemática para la selección de los artículos se tuvieron en cuenta diferentes características esenciales clasificadas en biomásas sólidas y orgánicas por ser materias primas fáciles de convertir en carbón principalmente por contener propiedades nutricionales o grupos funcionales que permiten lograr la carbonización mucho más rápido, producción de biocarbón en pirólisis lenta que se da entre las temperaturas de 300 a 700°C generando una alta rentabilidad económica y fácil obtención del producto, concentración de macronutrientes y micronutrientes para conocer la disponibilidad nutricional de los diferentes biocarbones, igualmente el porcentaje de cenizas, porcentaje de carbono fijo, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica siendo componentes de gran importancia para los efectos que podrían tener los diferentes biocarbones respecto a los usos agroindustriales, obteniéndose un total de 32 biocarbones que cumplieran con estos criterios.

Es importante resaltar que la bibliográfica y las fuentes de información constituye una etapa fundamental en los diferentes proyectos de investigación dado que garantiza el hallazgo de datos relevantes para un tema de estudio específico (Gómez Gutiérrez, 2014).

Posterior a la recolección de la información de los biocarbones se utilizó el software estadístico Infostat para el análisis de los datos mediante técnicas de estadística descriptiva obteniendo parámetros como la media y la desviación estándar con el fin de realizar la comparación efectiva de las propiedades físico-químicas de los biocarbones y el reconocimiento de las tendencias claves de los datos estudiados, para esto se agruparon los biocarbones producidos con biomásas similares caracterizados de la siguiente manera:

**Tabla 1.** Agrupación de las biomásas.

Grupo	Número de biomásas	Descripción
1	4	Biomásas de cáscara de café y residuo de café agotado
2	4	Biomásas de cáscaras de frutas
3	2	Biomásas de cáscara de avellana
4	2	Biomásas de desechos alimentarios
5	5	Biomásas de Madera
6	2	Biomásas de bambú
7	5	Biomásas de palma
8	4	Biomásas de residuos de jardín y poda
9	2	Biomásas de rastrojo de maíz
10	2	Biomásas de alga y planta marina

Cabe resaltar que durante el análisis de la información obtenida mediante el Software Infostat el grupo número uno (1) siempre va a ser la referencia directa de comparación con las diferentes biomásas dado que este proporciona la caracterización físico-química referente a la cáscara (pulpa) de café con el fin de obtener los usos agroindustriales y ambientales del biocarbón de pulpa de café.

## **DEFINICIÓN DE EFECTIVIDAD Y POSIBLES USOS AGRÍCOLAS DEL BIOCARBÓN DE PULPA DE CAFÉ**

Dado a la cantidad de variables tenidas en cuenta para la caracterización de los biocarbones fue oportuno acudir al análisis estadístico multivariado que permitiera interpretar y visualizar las diferentes variables, con el propósito de medir, explicar y predecir el grado de relación de interdependencia que se presentó entre las variables mencionadas en la metodología del objetivo anterior. Para ello se ingresaron los datos al software Infostat bajo la técnica de Conglomerados, que mediante la distancia Euclidiana entre variables y análisis de Clúster permite la formación de grupos donde se buscó fragmentar la muestra en grupos semejantes, a partir de una matriz que comprendiera variables como el N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Na, Cenizas, pH y el uso que se le fue designado a cada biomasa, permitiendo la creación de grupos o conglomerados de tal manera que se formaran clases de biocarbones similares. Cada conglomerado se clasificó en homogéneos según la variable *tipo de biomasa* para formar los grupos, con el fin de reconocer, describir y comparar que la variabilidad intraclase fuera inferior a la variabilidad entre clases.

Así mismo se recurrió al análisis de varianza con el objetivo de identificar semejanzas en la composición y características de los biocarbones hechos de las diferentes biomásas y poder relacionar sus usos con la biomasa de café, para ello se realizó comparación de medias con el Método de Duncan y poder conocer las igualdades existentes entre biomasa de café y las demás evaluadas.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. RECONOCIMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE BIOCARBONES PRODUCIDOS A PARTIR DE DIFERENTES BIOMASAS**

Se realizó la matriz de caracterización física y química con un total de 32 biocarbones producidos a través del proceso de pirólisis lenta entre temperaturas de 400 y 600°C principalmente, incluyendo las variables de macro y micronutrientes, porcentaje de cenizas, porcentaje de carbono fijo, materia orgánica, pH y conductividad eléctrica, así como la caracterización del uso potencial de cada biocarbón (*Anexo 1*), posterior a esto se realizó el análisis descriptivo para las diferentes propiedades física y química de los biocarbones seleccionados evaluando variables de media y desviación estándar.

Los macro y micronutrientes son elementos esenciales tanto para plantas (Kirkby, 2008) como animales (FAO, 2015); ya que en las plantas son los encargados de proporcionar funciones específicas evitando las debilidades en sus estructuras, que sean susceptibles a plagas y enfermedades, la baja calidad alimentaria y cosechas de poca productividad y durabilidad. En los animales los macro y micronutrientes también cumplen un papel importante en su nutrición proporcionando energía y facilitando las reacciones químicas necesarias para su funcionamiento metabólico (FAO, 2015).

Dentro del análisis descriptivo para los elementos correspondientes a los macronutrientes en la *tabla 2* se pueden observar valores próximos a los hallados en la biomasa de cáscara de café con la biomasa de palma y rastrojo de maíz en los elementos de fósforo y calcio con valores de 1,3 g/kg; 11,59 g/kg y 1,98 g/kg; 10,54 g/kg respectivamente; lo que lleva a una aproximación a la utilidad del biocarbón de cáscara de café por su similaridad con los antes mencionados en la fertilización de suelos, retención de contaminantes, ayuda en la mitigación del cambio climático, germinación eficaz en los cultivos (Houben et al., 2013, Guerra 2015, Enders et al., 2012, Herrera et al., 2018). Igualmente se encontraron valores cercanos en cuanto al elemento de nitrógeno con las biomásas de cáscara de avellana con valores promedio de 2,65% y desechos alimentarios con valor de 2% lo cual es de gran importancia en el biocarbón puesto que este elemento se puede retener temporalmente soluble en la estructura del biocarbón y liberarlo en pequeñas dosis, incrementando así la eficiencia y la productividad de los cultivos (Zheng et al., 2013). Por otro lado, se evidenció similaridades con las biomásas de cáscara de avellana y madera en los elementos de azufre con valores de 0,16 mg/kg y 0,5 mg/kg respectivamente y sodio con valores de 427 mg/kg y 742,2 mg/kg respectivamente dando una posibilidad de uso para la fertilización de suelos y la mitigación del cambio climático (Enders et al., 2012).

**Tabla 2.** Promedio de los macronutrientes de los biocarbones producidos a partir de las diferentes biomásas identificadas en la revisión sistemática.

BIOMASAS	N	P	K	Ca	Mg	S
	%	g/Kg				
Cascara de café	2,08±1,9b	1,41±2,2b	2,09±2,8a	11,12±7,8b	1,90±2,9ab	0,13±0,1b
Cascara de frutas	14,02±0,0d	27,20±14,9c	57,35±27,3a	3,18±2,9b	1,76±2,6ab	191,52±162,8c
Cascara de avellanas	2,65±0,5b	0,30±0,1b	4,73±0,6a	2,98±0,4b	0,54±0, a	0,16±0,0b
Desechos alimentarios	2,00±1,1b	7,84±0,4b	24,64±4, 7a	63,6±13,9bc	5,51±1,5bcd	1,13±0,1b
Madera	0,20±0,1b	0,07±0,1b	1,25±0,6a	2,62±0,4b	0,56±0,5a	0,15±0,1b
Bambú	10,05±0,0c	4,30±0,0b	177,85±218b	100,95±131,6c	7,93±6,5cd	0,80±0,0b
Palma	3,93±5,4bc	1,3±0,9b	4,35±3,3a	11,59±8,3b	3,86±1,6abc	1,13±0,7b
Residuos de Jardín y poda	0,36±0,5b	3,54±5,7b	18,26±29,1a	20,72±24,1b	2,57±2,9ab	1,85±2,9b
Rastrojo de maíz	1,10±0,0b	1,98±0,2b	24,72±0,1a	10,54±1,6b	9,05±0,7d	0,77±0,1b
Alga y planta marina	SD	SD	0,22±0,2	SD	3,12±1,1ab	SD

Valores medios, ± desviación estándar. N: Nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio, S: Azufre, SD: Sin dato, Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) por medio del test de Duncan.

Para el análisis descriptivo de los elementos correspondientes a los micronutrientes en la *tabla 3* se puede observar una gran disimilitud entre los datos del elemento hierro con un valor promedio de 765,95 mg/kg en las diferentes biomásas y un valor de 4,9 mg/kg en la biomasa de cáscara de café, respecto al elemento cobre se pueden observar valores por debajo del valor guía de la cáscara de café la cual cuenta con un valor de 3,8 mg/kg, algunas biomásas presentan un promedio de 0,35 mg/kg mientras que la biomasa de alga y planta marina tiene un valor de 39,95 mg/kg, el resto de biomásas no presentan datos para este elemento, igualmente cabe resaltar que se encuentran pocas semejanzas de datos entre los elementos de manganeso y zinc, los cuales son fundamentales para la funcionamiento enzimático y la eficiencia de los cultivos y suelos (Kolmans y Vásquez, 1999).

**Tabla 3.** Promedio de los micronutrientes de los biocarbones producidos a partir de las diferentes biomásas identificadas en la revisión sistemática.

BIOMASAS	Fe	Cu	Mn	Zn	Na
	mg/kg				
Cascara de café	4,90±0,6a	3,80±0,0e	0,40±0,0b	1,10±0,0a	593,05±836,4bc
Cascara de frutas	55,31±76,9a	0,96±0,7e	48,78±50,7b	14,8±20,5a	201,31±134,3b
Cascara de avellanas	35,00±9,9a	SD	18,00±4,2b	16,5±4,9a	427±28,3bc
Desechos alimentarios	3745±1863,9b	SD	159,5±58,7b	64±0,0ab	14103±565,7d
Madera	1054,20±1792,6a	SD	184,60±151,9b	46,2±32,26ab	742,2±588,3bc
Bambú	1,84±2,4a	0,44±0,6e	2,11±2,7b	0,64±0,86a	151,15±213,3b
Palma	0,27±0,1a	0,01±0,0e	0,75±0,5b	0,03±0,01a	0,62±0,3b
Residuos de Jardín y poda	788,82±857,6a	0,0031±0,0e	264,26±243,9b	69,76±61,7ab	1194,26±1251,1bc
Rastrojo de maíz	1212,5±211,4a	SD	212,50±19,1b	71±1,41ab	1461,5±109,6c
Alga y planta marina	0,65±0,2a	39,95±5,73f	SD	103,85±29,9b	SD

Valores medios, ± desviación estándar. Fe: Hierro, Cu: Cobre, Mn: Manganeso, Zn: Zinc, Na: Sodio, SD: Sin dato, Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) por medio del test de Duncan.

Por último se analizaron las características físico-químicas de los diferentes biocarbones (*Tabla 4*), donde podemos concluir poca similitud entre las biomásas en las diferentes variables evaluadas, sin embargo se destaca la variable de pH ya que la mayoría de las biomásas presentan un valor por encima de 7 con un promedio de 9,1 siendo elementos alcalinos, lo cual es beneficioso para el mejoramiento de propiedades físicas del suelo como porosidad, infiltración de agua, estructura, entre otros; también como material de encalado

por presentan valores de pH altos (Rebolledo et al., 2016). Variables como cenizas, carbono fijo y conductividad eléctrica presentan poca similitud en los datos siendo estas características generales del biocarbón correspondientes al sólido que queda después de que la materia volátil es liberada (McLaughlin *et al.*, 2009).

Se encontraron semejanzas entre la biomasa de cáscara de café con las biomásas de cáscara de avellana, madera, rastrojo de maíz y residuos de jardín y poda referente al elemento de Carbono el cual actúa como reservorio de larga duración, retardando su retorno a la atmósfera como CO<sub>2</sub>, situación que contribuye a mitigar el cambio climático (Escalante, 2016), por último se observa que la variable de materia orgánica tiene un valor de 46,3 g/kg para la biomasa de cáscara de café lo cual es un valor bajo respecto a las otras biomásas las cuales tienen un promedio de 534,92 g/kg.

La biomasa de cáscara de café en comparación con otras biomásas, da a conocer que esta se caracteriza como más alcalina, igualmente se logró observar que variables como el pH y la conductividad eléctrica eran mayores comparados con la biomasa de mazorca de maíz, concluyendo que estos valores se pueden dar por la hidrólisis experimentada por carbonatos y bicarbonatos de cationes base como el calcio, el magnesio, el sodio y el potasio, en cuanto a la conductividad eléctrica indica la existencia de sales solubles en el agua, igualmente valores de fósforo, carbono y nitrógeno fueron mayores dando a concluir que el biocarbón de cáscara de café tiene un uso importante para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos ácidos (Bayu et al., 2016). Así mismo, se puede observar que la biomasa de cáscara de café comparada con biomásas de exoesqueleto de langostino y coronta de maíz, logra presentar datos respecto a todas las variables analizadas de C, O, K, Ca, Mg, Si, Al, S y P mostrando resultados diferentes y caracterizándose para el uso eficiente de la germinación de cultivos, en comparación con las otras biomásas (Herrera et al., 2018), igualmente este puede ser utilizado directamente como combustible sólido por diferentes sectores industriales y residenciales como fuente de energía por su composición (Tsai et al., 2012).

**Tabla 4.** Promedio de las Características físico-químicas de los biocarbones producidos a partir de las diferentes biomásas identificadas en la revisión sistemática.

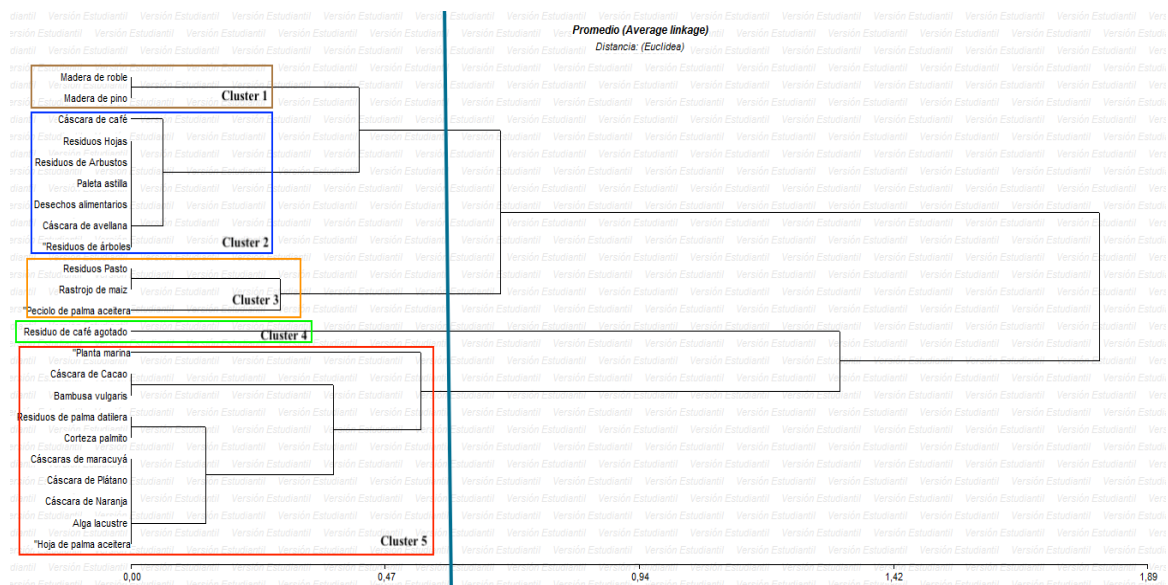
BIOMASAS	C	O	H	Cenizas	Cf	pH	MO	CE
	%						g/kg	dS/m
Cascara de café	72,24±17,9d	21,2±19,2e	6,95±0,0g	1,92±1,7a	8,23±0a	10,57±0,6c	46,39±0g	6,44±0,0cd
Cascara de frutas	SD	SD	SD	20,73±0,0bc	47,22±0bc	8,14±1,94ab	238,42±375,1g	6,92±0,0d
Cascara de avellanas	84,5±5,2e	12,7±2,55e	0,5±0,0e	2,05±0,21a	64,55±5,2cd	8,7±0,14bc	SD	1,55±0,07b
Desechos alimentarios	37±7,07c	SD	SD	52,35±0,5d	13,6±0a	10,25±0,8c	SD	2,15±0,49bc
Madera	86,66±2,9e	10,05±1,8e	2,58±0,2f	2,28±1,6a	61,78±13,4cd	6,34±0,9a	SD	1,84±2,05bc
Bambú	SD	SD	SD	7,46±0,0ab	76,35±0d	9,48±0,1bc	469,23±663,2g	2,03±0,7bc
Palma	50,37±26,6b	18,3±18,25e	3,24±1,02f	15,21±5,5abc	62,48±11cd	9,01±0,5bc	897,11±73,8g	2,32±1,42bc
Residuos de Jardín y poda	76,8±11,02cd	SD	SD	13,93±11,9abc	54,4±8,0cd	8,63±0,0bc	SD	1,88±3,2bc
Rastrojo de maíz	70,5±0,28de	10±1e	2,1±0,3ef	17,15±0,6abc	55,55±6,0cd	9,95±0,07bc	SD	1,95±0,07bc
Alga y planta marina	42,75±17,32c	53,45±19,3f	2,3±1,7ef	27,5±14,8c	24,9±8,1ab	10,4±0,5c	SD	SD

Valores medios, ± desviación estándar. C: Carbono, O: Oxígeno, H: Hidrogeno, Cf: Carbón fijo, MO: Materia Orgánica, CE: Conductividad eléctrica, SD: Sin dato, Letras distintas indican diferencias significativas (p<0.05) por medio del test de Duncan.



## POSIBLES USOS AGRÍCOLAS DEL BIOCARBÓN DE PULPA DE CAFE

La identificación de los usos potenciales de los biocarbones mediante la conformación de clúster por medio del análisis de conglomerados donde a partir de la variable de la distancia euclidiana se logró la formación de cinco (5) clúster correspondientes a las diferentes biomazas evaluadas (*Figura 8*), destacándose el clúster dos (2) por encontrarse en este la biomasa de cáscara de café permitiendo observar las similitudes en cuanto a los usos que pueden haber entre esta y las diferentes biomazas obtenidas en dicho grupo, conformadas por residuos de hojas, residuos de arbustos, residuos de árboles, paleta astilla, desechos alimentarios y cáscara de avellana.



**Figura 1.** Análisis de conglomerados de las diferentes biomazas. Elaboración: Software Infostat.

Las semejanzas que se dan en el grupo dos (2) referente a las biomazas utilizadas se enfocan principalmente en la fertilización de suelos con el objetivo de lograr su mejoramiento, obteniendo mayor rendimiento y eficiencia en diferentes cultivos, así como su utilización para la mitigación del cambio climático y la retención de elementos contaminantes en el suelo por las propiedades físico-químicas presentes en estos biocarbones; la utilización alternativa de estos puede llevar a una disminución significativa en cuanto a la utilización de fertilizantes comerciales con características perjudiciales para el ambiente como lo es la eutrofización de fuentes de agua, contaminación de suelos con elementos químicos y acumulación de elementos trazos contenidos en productos como fertilizantes, herbicidas y pesticidas utilizados en la producción agropecuaria para mayor disponibilidad y actividad (Bernardo et al., 2014).

El biocarbón de cáscara de café se ha utilizado en la influencia en el tiempo de germinación y el incremento de masa de parte aérea durante el crecimiento de la plántula estudiada de *Capparis Scabrida*, lo cual indica que se puede utilizar en la efectividad de germinación en diferentes cultivos (Herrera et al., 2018), igualmente se caracteriza por servir como enmienda para plantas acumuladoras de alto contenido de Silicio (Si), aumentando la fertilidad en los

suelos y el secuestro de Carbono (C) (Houben et al., 2013), por último en suelos ácidos la adición de este biocarbón mejora en la fertilidad del suelo y rendimiento de los cultivos, igualmente la aplicación de este da una mejora en las propiedades químicas del suelo como el pH, Conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno y fósforo disponible, logrando su mayor productividad (Bayu et al., 2016).

Para los biocarbones elaborados con biomásas de Residuos de arbustos, residuos de hojas, desechos alimentarios, cáscara de avellana y paleta astilla se encuentran similitudes con la biomasa de cáscara de café en cuanto a las propiedades elementales indicando que pueden tener la misma estabilidad y retención de carbono, así como su efectividad en el mejoramiento del pH del suelo (Enders, *et al* 2012) y por último el biocarbón elaborado con biomasa de residuos de árboles presenta una alta producción de biomasa y absorción de nitrógeno (N) en las plantas de trigo y rábano, igualmente se caracteriza por presentar aumentos significativos en la actividad microbiana de los suelos (Zwieten *et al* 2010). En este sentido el biocarbón de cáscara de café puede presentar potencialidades para ser utilizado por su aporte en las mejoras en el suelo y contribuir con la mitigación del cambio climático y la absorción de diferentes elementos contaminantes.

En el análisis de varianza y la comparación de Duncan (*Anexo 2*) se integraron los diez (10) grupos de biomásas formados, encontrándose resultados que permiten identificar las similitudes entre las biomásas dadas en cada una de las variables y comparándolas con la biomasa de cáscaras de café, considerada en este trabajo como el referente de análisis, con respecto a los demás grupos para cada una de las variables evaluadas, es decir, que se interpretaron solo aquellos materiales que tuviesen una letra en común con el conjunto conformado por las cáscaras de café indicando la semejanza entre las mismas. Cabe mencionar que aquellos materiales que solo indicaron un dato o ninguno frente a la variable analizada, es decir que el valor de  $n=0$  o  $n=1$  no fueron tenidas en cuenta para la discusión debido a que no proporcionaron información significativa.

Dentro de los elementos correspondientes a los macronutrientes (*Tabla 2*), se puede destacar la similitud que existe entre las biomásas compartiendo valores similares en cuanto al elemento de Nitrógeno excepto la de cáscara de frutas, bambú y alga marina, donde el valor más alto corresponde a la biomasa de palma con un total de 3,93 %. El elemento fósforo tiene igualmente similitud con la mayoría de biomásas excepto con la cáscara de frutas y el alga marina donde el valor más alto es de 7,84 mg/kg correspondiente a la biomasa de desechos alimentarios. Para el potasio se comparten similitudes con el 90% de las biomásas excepto la de bambú, el valor más alto para este elemento se le encuentra en la biomasa de cáscara de frutas con un valor de 47,35 g/kg. El elemento calcio no comparte similitud con las biomásas de bambú y alga marina, teniendo el valor más alto en los desechos alimentarios 66,6 g/kg. Correspondiente al elemento de magnesio se encuentran similitudes con el 80% de las biomásas quedando por fuera las el bambú y el rastrojo de maíz, representado el valor más alto en la biomasa de desechos alimentarios con 5,51 g/kg, por último, para el elemento azufre se comparten similitudes con la mayoría de biomásas a excepción de la cáscara de frutas y de alga marina, representando el valor más alto con la biomasa de residuos de jardín y poda con un total de 1,85 g/kg.

Para el análisis correspondiente a los micronutrientes (Tabla 3), se encontraron similitudes teniendo como base la biomasa de la cáscara de café, con respecto al elemento Hierro se encuentra el 90% de las biomásas comparadas excepto la de desechos alimentarios y con valor más alto con el rastrojo de maíz con un total de 1212,5 mg/kg. Para el elemento correspondiente al cobre se hallaron similitudes con las biomásas de cáscara de avellana, bambú, palma y residuos de jardín y poda, donde el valor más elevado lo obtuvo la biomasa de principal interés con 3,8 mg/kg. En cuanto al Magnesio, la similitud de valores fue compartida con el 90% de las biomásas, quedado por fuera la de alga marina y teniendo el valor más alto la de residuos de jardín y poda con 264,26 mg/kg, las mismas similitudes fueron halladas en el elemento Zinc, pero el valor más alto corresponde a la biomasa de rastrojo de maíz con 71 mg/kg. El último elemento analizado fue el Sodio, elemento con el cual la cáscara de café tiene similitudes con el 80% de las biomásas, quedando por fuera el alga marina y los desechos alimentarios, la biomasa de rastrojo de maíz obtuvo el valor máximo de 1461,5 mg/kg.

Por último, para las características físico-químicas (Tabla 4), el elemento de carbono, la cáscara de café tiene valores similares al 50% de las biomásas donde el valor más alto es el de la biomasa de madera con 86,66 %. En cuanto al elemento Oxígeno, las similitudes se vieron en pocas biomásas cáscara de avellana, madera, palma y rastrojo de maíz, siendo 21,26 el valor más elevado perteneciente a la biomasa de cáscara de café. Para el Hidrógeno, la muestra de cáscara de café no tuvo similitud con ninguna muestra y su valor fue de 6,95 %. Con respecto a las cenizas, el valor para la cáscara de café fue similar al 60% de las biomásas para esta última el valor más alto se dio en el rastrojo de maíz con un total de 17,15 %.

Siguiendo con la comparación de los resultados, el Carbón Fijo, se halló similitudes solo con las biomásas de cáscara de avellana y el alga marina, siendo esta última la de mayor valor con 24,9 %. Para el contenido de Materia Orgánica, la cáscara de café tiene valores similares a las biomásas de cáscara de avellana, bambú y palma siendo esta última la que mayor valor presenta con 897,11 g/kg. Para pH, la cáscara de café tiene similitud con el 70% de las biomásas el valor más alto fue para la biomasa de cáscara de café con 10,57. Por último, para la Conductividad Eléctrica, se observó similitud con el 80% de las biomásas, arrojando como valor más alto 6,92 dS/m para la biomasa de cáscara de avellana.

De todas las comparaciones se pudo identificar y extraer las variables que más similitud tuvieron en el análisis de varianza siendo los elementos correspondientes al nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, zinc, sodio, porcentaje de cenizas y de carbón fijo, pH y conductividad eléctrica siendo importantes para identificar y relacionar los respectivos usos potenciales de las diferentes biomásas correspondientes al clúster 2.

Dentro de la biomásas correspondientes a la cáscara de café, Tsai (2011), muestra que los elementos correspondientes a los micronutrientes Fe, Mn, Zn y Na presentan concentraciones muy bajas en comparación con los macronutrientes N, P, K y Mg, junto con elementos inorgánicos que presentan formas de óxido lo cual permite la utilización como transferencia de calor, igualmente Herrera (2018) señala que los macro y micronutrientes cuentan con concentraciones bajas igual que el porcentaje (%) de cenizas, resaltando que este al contar con minerales esenciales como el Mg, S y P, permite tener una germinación eficaz dentro de

diferentes cultivos. Dume (2015) demuestra que el pH y la conductividad eléctrica cuenta con valores altos igualmente las diferentes características físico-químicas presentan valores mayores respecto al biocarbón de mazorca de maíz con el cual se comparó originalmente, concluyendo que el biocarbón de cascara de café es más efectivo en cuanto a la mejora de las propiedades físicas y químicas de suelos ácidos.

#### 4. CONCLUSIONES

Para el desarrollo eficaz de este trabajo investigativo se realizaron diferentes momentos metodológicos los cuales permitieron llevar a cabo el adecuado cumplimiento del objetivo general, mediante la ejecución de momentos claves que fueron dando sentido a la investigación, partiendo de la búsqueda de lo general en cuanto a la información y relación que presentan los diferentes biocarbones orgánicos estudiados, y llegando a lo particular donde se lograron evidenciar las potencialidades ambientales y agroindustriales que tiene el biocarbón de pulpa de café.

A partir de la comparación de los diferentes elementos nutricionales y las propiedades físico-químicas de los biocarbones estudiados se identificó que el biocarbón de pulpa de café logra llegar a tener similitudes con algunos de los datos descritos en los elementos de los macronutrientes, micronutrientes y características físico-químicas de los diferentes biocarbones, sirviendo esto de referencia para determinar aquellas variables que se pueden considerar más importantes para la caracterización de los usos que tiene o que puede potencializar el biochar de pulpa de café, esto fue de vital importancia ya que permitió dar la identificación de los posibles usos agrícolas del biocarbón de pulpa de café, en donde se lograron identificar que las biomásas de residuos de hojas, residuos de arbustos, residuos de árboles, paleta astilla, desechos alimentarios y cáscara de avellana presentan similitudes en cuanto a los usos del biochar de pulpa de café, siendo estos principalmente de fertilización de suelos, mitigación del cambio climático, aporte de nutrientes y retención de contaminantes.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bayu, D., Tadesse, M., Amsalu, N., 2016. Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. *African J. Environ. Sci. Technol.* 10, 77–85. <https://doi.org/10.5897/ajest2015.2014>
- Bernardo, M., Lapa, N., Gonçalves, M., Mendes, B., Pinto, F. (2012) Study of the organic extraction and acidic leaching of chars obtained in the pyrolysis of plastics, tire rubber and forestry biomass wastes. *Procedia eng.* 2012;42:1739–1746.
- Bressani, R (1978). Pulpa de café. Composición tecnológica y utilizada. Artículo: Posibles usos de los subproductos del grano de café pag: 31-37 *Cenicafé.* (1958). 01. *Historia del café.pdf.*
- Ellen Macarthur Foundation. (2012). Hacia Una Economía Circular: Motivos económicos para una transición acelerada. *Fundación Ellen MacArthur*, 22. [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive\\_summary\\_SP.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf)
- Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S., & Lehmann, J. (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource*

- Technology*, 114, 644–653. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.022>
- FAO. (2015). Macronutrientes y micronutrientes. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*, 2. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-8-112>
- Gómez Gutiérrez, C., 2014. El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. *Cambio climático y Desarrollo sostenible. Bases conceptuales para la Educ. en Cuba* 90–101.
- Guerra, P. (2014). Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 101.
- Herrera, E., Feijoo, C., Alfaro, R., Solís, J., Gómez, M., Keiski, R., & Cruz, G. (2018). Biochar based on residual biomasses and its influence over seedling emergence and growth in vivarium of *Capparis scabrida* (Sapote). *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 569–577. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.13>
- Houben, D., Sonnet, P., & Cornelis, J. T. (2014). Biochar from *Miscanthus*: A potential silicon fertilizer. *Plant and Soil*, 374(1–2), 871–882. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1885-8>
- Kirkby, E., & Römheld, V. (2008). Introducción. *Micronutrientes En La Fisiología de Las Plantas: Funciones, Absorción y Movilidad (Versión En Español)*, 6. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/3FA84D0333FEDEAA852579A0006BF733/\\$FILE/Micronutrientes en la Fisiología de las Plantas.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/3FA84D0333FEDEAA852579A0006BF733/$FILE/Micronutrientes%20en%20la%20Fisiolog%C3%ADa%20de%20las%20Plantas.pdf)
- Kolmans, E. y Vásquez, D. 1999. Manual de agricultura ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación. La Habana: Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales.
- Lehmann, J., Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: science, technology and implementation. *Biochar environ. Manag. Sci. Technol.* New york: earthscan; 2015.
- McLaughlin, H., Anderson, P. S., Shields, F. E., & Reed, T. B. (2009). All Biochars are not Created Equal and How to Tell them Apart. *North American Biochar*, 2(August), 1–36.
- Rebolledo, A.E., López, G.P., Moreno, C.H., 2016. Biocarbón ( biochar ) I : Naturaleza , historia , fabricación y uso en el suelo.
- Tsai, W.T., Liu, S.C., Chen, H.R., Chang, Y.M., Tsai, Y.L., 2012. Textural and chemical properties of swine-manure-derived biochar pertinent to its potential use as a soil amendment. *Chemosphere* 89, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.085>
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Downie, A., Morris, S., Petty, S., Rust, J., & Chan, K. Y. (2010). A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil. *Australian Journal of Soil Research*, 48(6–7), 569–576. <https://doi.org/10.1071/SR10003>
- Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Zhao, J., Luo, Y., Novak, J., Herbert, S., Xing, B., 2013. Characteristics and nutrient values of biochars produced from giant reed at different temperatures. *Bioresour. Technol.* 130, 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.044>

## Referencias tomadas de la web

Montoya, L.M. (2016). *Estudio de las interacciones planta-bacteria-biocarbón y de su efecto promotor de la productividad de especies de cultivos*. Trabajo de grado para optar al título de Bióloga, Universidad ICESI. Recuperado de:

[https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/81093/1/montoya\\_estudio\\_interacciones\\_2016.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/81093/1/montoya_estudio_interacciones_2016.pdf)

Nadal, A. (2019, 14 de agosto). Capitalismo, agricultura y cambio climático. *La Jornada*. Recuperado de: <https://www.jornada.com.mx/2019/08/14/opinion/021a1eco>

NIETO, L. E. (2002). *Módulo 6: Análisis Multivariado*. Recuperado de: [http://allman.rhon.itam.mx/~lnieto/index\\_archivos/Modulo61.pdf](http://allman.rhon.itam.mx/~lnieto/index_archivos/Modulo61.pdf)

Pérez, J., Barrera, R. & Ramírez, G. (2015). Integración de plantaciones forestales comerciales colombianas en conceptos de biorrefinería termoquímica: una revisión. *Colombia Forestal*, 18(2),273-294. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v18n2/v18n2a07.pdf>

Reyes, G. (2018). *Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biocarbón como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de Acacia mangium Willd*. Tesis doctoral para optar al título de Doctor en Agroecología, Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de:

<http://bdigital.unal.edu.co/71444/7/GiovanniReyesMoreno.2018.pdf>

Sánchez, A., Ávila, E., Restrepo, H. (2020). Use of Biocarbón in Agriculture. *Acta Biológica Colombiana*. Volumen 25, Número 2, p. 327 - 338. Recuperado de:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/79466/pdf>

