



INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de la eficiencia del biocarbón obtenido a partir de la zoca en el compostaje de subproductos del café en el área de influencia de la cuenca del Río Guarapas en el departamento del Huila.

Adriana María Calderón Vargas

Luz Daniela Trujillo Vela

Docentes:

Directora:

Dra. Mercedes Castillo De Herrera

Codirectora:

Dra. Carolina Saldarriaga Ramírez

Línea de Investigación:

Gestión del riesgo y Adaptación al cambio climático

Grupo de investigación: Centro de Altos Estudios en Cuencas Hidrográficas (CAECHI)

Universidad Santo Tomás

Bogotá D.C., Colombia

30 de enero de 2026

Contenido

ABSTRACT	8
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	13
4. HIPÓTESIS	13
5. OBJETIVOS	13
5.1. Objetivo general	13
5.2. Objetivos específicos	13
6. JUSTIFICACIÓN	13
7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	15
8. MARCOS REFERENCIALES	16
8.1. Marco conceptual.....	16
8.1.1. Café	16
8.1.2. Pulpa de café	16
8.1.3. Zoca de café.....	16
8.1.4. Biocarbón	17
8.1.5. Compostaje.....	17
8.2. Marco teórico	17
8.2.1. Taxonomía del fruto de café	17
8.2.2. Subproductos del café	18
8.2.3. Beneficio húmedo del café	18
8.2.4. Pulpa de café	18
8.2.5. Potencial de aprovechamiento de subproductos de café.....	18
8.2.6. Compostaje.....	19
8.2.7. Factores ambientales que afectan el compostaje	19

8.2.8.	Fases del compostaje.....	20
8.2.9.	Compost	20
8.2.10.	Biocarbón	20
8.2.11.	Pirólisis	21
8.2.12.	Compostajes con biocarbón	22
8.3.	Marco Legal	24
8.3.1.	NTC 5167 de 2022	24
8.3.2.	Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica río Guarapas.	24
8.4.	Antecedentes o estado del arte.....	25
9.	METODOLOGÍA.....	30
9.1.	Tipo y enfoque de investigación	30
9.2.	Fuente y uso del biocarbón	31
9.3.	Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del biocarbón de zoca de café.	31
9.4.	Elaboración del compostaje de pulpa de café con la incorporación de biocarbón	33
9.4.1.	Área de estudio	33
9.4.2.	Instalación del ensayo	33
9.4.3.	Diseño del experimento.....	33
9.4.4.	Número de réplicas	34
9.4.5.	Diagrama del diseño experimental	35
9.4.6.	Método de Compostaje	37
9.4.7.	Análisis de datos	39
9.4.8.	Variables	39
9.4.9.	Muestreo	41
9.5.	Análisis de las características fisicoquímicas del compost	42

9.5.1.	Análisis de datos	42
10.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
10.1.	Caracterización de las propiedades del biocarbón	43
10.1.1.	Análisis de los parámetros físicos-estructurales del biocarbón	43
10.1.2.	Contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa	45
10.1.3.	Propiedades fisicoquímicas del biocarbón.....	46
10.2.	Compostaje de pulpa de café con biocarbón de zoca: análisis de temperatura y volumen final.	49
10.2.1.	Interpretación del comportamiento térmico del proceso.	49
10.2.2.	Análisis estadístico de la temperatura.	54
10.2.3.	Volumen inicial, volumen final y reducción volumétrica del compost por tratamiento y pila.	58
10.3.	Análisis propiedades fisicoquímicas.	61
10.3.1.	Comparación de resultados por tratamiento.	63
10.3.2.	Análisis por tratamiento.	67
11.	CONCLUSIONES.	68
12.	REFERENCIAS	70



Contenido de tablas.

Tabla 1.....	32
Tabla 2.....	43
Tabla 3.....	45
Tabla 4.....	46
Tabla 5.....	50
Tabla 6.....	55
Tabla 7.....	55
Tabla 8.....	55
Tabla 9.....	57
Tabla 10.....	58
Tabla 11.....	59
Tabla 12.....	61
Tabla 13.....	62



Contenido de figuras.

Figura 1.	17
Figura 2.	32
Figura 3.	36
Figura 4.	37
Figura 5.	38
Figura 6.	42
Figura 7.	51
Figura 8.	53
Figura 9.	56



Agradecimientos

“La investigación es el mejor camino para solucionar los conflictos entre el ser humano y la naturaleza.”

El presente proyecto de investigación fue posible gracias al apoyo académico, técnico e institucional de la Dra. Mercedes Castillo de Herrera, la Dra. Elizabeth Carvajal Flórez, Carolina Saldarriaga Ramírez y Patricia Castillo Garzón, quienes contribuyeron de manera significativa mediante su asesoría especializada y acompañamiento permanente durante el desarrollo de la investigación.

Se extiende un especial agradecimiento a Lorenz Buser, en representación de la empresa Cotierra S.A.S., entidad financiadora de este proyecto, el cual propone una alternativa para el saneamiento de la caficultura en la cuenca del río Guarapas.

De igual manera, al ingeniero Mauricio Valenzuela Rojas, por facilitar el uso de la biofábrica para la ejecución del experimento en la finca Villa Matilde, ubicada en la vereda Honda Porvenir del municipio de Pitalito, así como por su acompañamiento permanente durante todo el proceso; y a Luis Fernando Cruz Rebellon, por su valioso apoyo técnico.

A Willians Castrillon y Pablo Alejandro Pinzon, por su colaboración en las jornadas de campo.

Finalmente, nuestras familias, por su ánimo, apoyo moral y paciencia, fundamentales para la culminación de este objetivo académico.

ABSTRACT

Coffee pulp is a by-product that can become a potential source of contamination in the watershed area of the Guarapas River. Likewise, the biomass resulting from coffee plantation renewal through the stumping method lacks adequate utilization strategies. The main objective of this study was to evaluate the effect of incorporating coffee stumping biochar into the composting of coffee pulp, through the physicochemical characterization of the resulting compost and its comparison with the standards established in the Colombian Technical Standard NTC 5167:2022.

The experiment was conducted at Villa Matilde farm, located in the Honda Porvenir village, in the municipality of Pitalito, Huila. The physical properties and lignocellulosic content of coffee stumping biochar were analyzed, as well as the effect of biochar incorporation into coffee pulp composting under two treatments as follows: T1 70/30 (70% coffee pulp and 30% biochar) and T2 80/20 (80% coffee pulp and 20% biochar), both with three replicates, and a control treatment (coffee pulp without treatment). Finally, the physicochemical parameters of the compost were evaluated and compared with the Colombian Technical Standard NTC 5167 (2022).

Keywords: watershed, biochar, zoca coffee, coffee pulp, composting, NTC 5167.



RESUMEN

La pulpa de café es un subproducto que puede llegar a ser una fuente contaminante en el área de la cuenca hidrográfica del río Guarapas. Así mismo, la biomasa resultante de la renovación de cafetales por el método de zoca carece de estrategias de aprovechamiento adecuadas. El presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar el efecto de la incorporación del biocarbón de zoca en el compostaje de pulpa de café, mediante la caracterización fisicoquímica del compost obtenido y su comparación con los estándares establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167:2022.

El experimento fue realizado en la finca Villa Matilde, ubicada en la vereda Honda Porvenir del municipio de Pitalito, Huila. Se analizaron las propiedades físicas y el contenido lignocelulósico del biocarbón de zoca de café; así como el efecto de la incorporación de biocarbón en el compostaje de pulpa de café en 2 tratamientos de la siguiente manera: T₁ 70/30 (70% de pulpa de café y 30% de biocarbón) y T₂ 80/20 (80% de pulpa de café y 20% de biocarbón), ambos con 3 repeticiones y el control (pulpa de café sin tratamiento). Finalmente, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos del compost en contraste con la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2022.

Palabras claves: Cuenca hidrográfica, biocarbón, zoca de café, pulpa de café, compostaje, NTC 5167.



1. INTRODUCCIÓN

Colombia es considerado como el tercer productor de café en el mundo, durante el año cafetero 2023-2024, la producción nacional alcanzó los 12,8 millones de sacos de 60 kg de café verde, esto se debe a las condiciones climáticas óptimas para el cultivo (FNC, 2024). En el departamento del Huila, la producción anual es de 2.237.400 sacos de café excelso de 60 kg, y cuenta con un área establecida de 147.969 hectáreas que corresponden a 102.516 fincas cafeteras, de las cuales en la cuenca del río Guarapas existen 16.080 fincas con un área total en producción de 22.323,23 hectáreas(FNC, 2023). La producción de café implica el desarrollo de etapas como el establecimiento del cultivo, la renovación por siembra o zoca, recolección del fruto y el beneficio húmedo, en el cual se realiza el despulpado mecánico del fruto, que genera residuos orgánicos como la pulpa y el mucílago(Ruiz-Nájera et al., 2021). La pulpa del café origina lixiviados en el proceso de descomposición natural (Gómez, 2021), y el manejo inapropiado de grandes volúmenes de pulpa ocasiona impactos negativos en los ecosistemas, de tal manera que afecta el suelo, el aire y el agua (Montes, 2019).

Una alternativa para el aprovechamiento de la pulpa de café es la elaboración de compostaje, ya que su composición química la convierte en una materia prima con condiciones favorables para la producción de abono orgánico (Rodríguez, 2023). Asimismo, el biocarbón de zoca de café puede contribuir a la gestión de residuos orgánicos provenientes de la caficultura, debido a que, por lo general, el biocarbón obtenido de diferentes fuentes de biomasa (madera, hojas, paja, excretas, etc.) es utilizado como mejorador de suelos (Soto et al., 2023). No obstante, aún se desconoce la eficiencia del biocarbón obtenido de la zoca en procesos de compostaje con pulpa de café.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia del biocarbón de zoca sobre las características fisicoquímicas del compost de pulpa de café, en relación con la Norma



Técnica Colombiana (NTC) 5167 de 2022. Para esto, se llevó a cabo un caso de estudio en el área de influencia de la cuenca del río Guarapas en el departamento del Huila.

Por lo anterior, se evaluó el comportamiento del biocarbón en la transformación de pulpa de café y las características fisicoquímicas del compost, como alternativa para la mitigación de la contaminación generada a partir de esta actividad productiva en las cuencas hidrográficas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, la caficultura representa un renglón productivo importante para la economía nacional, en las etapas del proceso de producción de café se genera alrededor de 784.000 toneladas/año de biomasa residual que incluye el mucílago, la pulpa, la cascarilla, entre otros (Serna et al., 2018). Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que se exporta, se generan aproximadamente 162.900 toneladas de pulpa fresca (Rodríguez, 2023). En el departamento del Huila el 74% de la población rural se dedica a la caficultura (FNC, 2025). De acuerdo con la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2023), el área de café cosechada en el Huila es de 121.423,56 hectáreas, con una producción de 142.524,31 toneladas/año, lo que representa el 17,34 % de la producción nacional; en el área de influencia de la cuenca del río Guarapas, el municipio de Pitalito cuenta con un área sembrada de 17.753,33 hectáreas y una producción anual de 21.598,77 toneladas de café, mientras que Palestina posee un área de 4.569,74 hectáreas y una producción de 5.125,95 toneladas de café/año. La pulpa y el mucílago constituyen los subproductos más abundantes durante el beneficio húmedo del café y representan aproximadamente el 60% del peso del fruto (González et al., 2020). En este contexto, la pulpa de café (*Coffea arabica*) corresponde al primer subproducto obtenido en el proceso del beneficio y se genera durante el despulpado del grano, este representa en base húmeda aproximadamente el 43,58% del peso del fruto en cereza (Restrepo & Villa, 2020). Asimismo, por cada 12,5 toneladas de café pergamino seco (c.p.s.) se obtienen aproximadamente 27 toneladas de pulpa fresca (Rodríguez, 2023). Según los factores de conversión planteados desde Cenicafe (Montilla-Pérez et al., 2008), para realizar



transformaciones entre los estados del grano de café pergamino seco a pulpa fresca, se puede inferir que, en la cuenca del río Guarapas, se produce alrededor de 55.784,66 toneladas de pulpa de café en un año. Estos grandes volúmenes de pulpa proveniente del café, en su mayoría, son dispuestos en el suelo a cielo abierto o directamente en las corrientes de agua, sin ningún tratamiento preliminar, lo que trae como resultado un aumento de la demanda bioquímica de oxígeno y de la carga de sólidos totales, malos olores y alteraciones en los componentes químicos del agua (Urquijo Trujillo, 2016). Además, es un subproducto con un pH ácido, lo que puede favorecer la solubilización del aluminio (Al) en los suelos donde se efectúa su disposición (Fierro-Cabrales et al., 2018). De igual forma, este subproducto contiene cafeína, taninos y polifenoles; estos últimos pueden conferir propiedades tóxicas a los residuos orgánicos; no obstante, también posee compuestos orgánicos biodegradables que permiten su aprovechamiento en la elaboración de compost (Dadi et al., 2019a). Este es un proceso de degradación mediante la acción enzimática de microorganismos; para su adecuado desarrollo, la mezcla del compostaje debe estar balanceada entre materiales orgánicos ricos en carbono y otros ricos en nitrógeno (Navarro, 2023). Por otra parte, Parlindungan et al. (2024) señalan que el biocarbón, independientemente de su origen, incrementa el contenido de carbono en suelo, la materia orgánica, la porosidad, la capacidad de retención de agua y nutrientes; por lo que su incorporación puede optimizar el proceso de compostaje. Bajo este enfoque, la biomasa proveniente de la renovación por zoca del cultivo del café constituye otro subproducto subutilizado, sobre el cual existe un vacío de investigación sobre su potencial al ser transformado en biocarbón.

Actualmente, se desconoce la eficiencia del biocarbón obtenido a partir de la zoca en la optimización de las características fisicoquímicas del compost de pulpa de café. Esto plantea la necesidad de investigar si la incorporación de biocarbón, puede contribuir a una gestión más eficiente de los residuos en la caficultura y fortalecer las prácticas sostenibles en la cuenca del río Guarapas.

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo influye la incorporación de biocarbón obtenido a partir de zoca en las características fisicoquímicas del compost elaborado con pulpa de café, en relación con los parámetros establecidos en la norma NTC 5167?

4. HIPÓTESIS

La incorporación de biocarbón de zoca en concentraciones del 20 % y 30 % mejora significativamente las propiedades fisicoquímicas del compost de pulpa de café, permitiendo cumplir los estándares de la NTC 5167:2022, en comparación con el compost sin biocarbón.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la incorporación de biocarbón de zoca en el compostaje de pulpa de café, mediante la caracterización fisicoquímica del compost obtenido y su comparación con los estándares establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167:2022.

5.2. Objetivos específicos

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del biocarbón de zoca de café producido a partir de la pirólisis lenta por Cotierra S.A.S.

Elaborar compostaje de pulpa de café con la incorporación de biocarbón de zoca en concentraciones del 20 % y 30 %.

Comparar las características fisicoquímicas del compost con biocarbón respecto a los estándares de la NTC 5167:2022.

6. JUSTIFICACIÓN

El café ocupa un renglón importante en la economía colombiana; no obstante, su producción genera afectaciones ambientales durante el proceso de postcosecha, especialmente en el beneficio húmedo del grano, debido a que las técnicas de despulpado desencadenan un exceso de residuos de pulpa que son vertidos al suelo o a las fuentes hídricas sin un tratamiento adecuado. Esta

problemática es relevante en el departamento del Huila, ya que es reconocido como uno de los principales productores de café del país por sus condiciones climáticas, fertilidad del suelo, calidad en taza y producción de cafés especiales (Calderón Ortega et al., 2022).

Aunque la Federación Nacional de Cafeteros, mediante estudios realizados desde el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), plantean estrategias de innovación que permitan la aplicación de prácticas que mejore estos procesos de postcosecha en la producción, no todos los caficultores pueden acceder a estas tecnologías, lo que limita su impacto positivo para la mitigación de la contaminación.

La composición de la pulpa de café la ha convertido en un subproducto de interés para la investigación y el desarrollo de diferentes productos; por ello, algunos estudios se han enfocado en diseñar alternativas para su aprovechamiento, entre las que se destacan el compostaje y la producción de biocarbón a partir de la pulpa de café, este último puede influir en el pH y la respiración microbiana del suelo, además de contribuir en el manejo de los residuos sólidos (Sánchez-Reinoso et al., 2023).

Existen investigaciones sobre el tratamiento de la pulpa de café a partir de pirólisis rápida para producir biocarbón. De acuerdo con el reporte realizado por ICO (2023), el biocarbón obtenido a partir de la cáscara de café mediante pirólisis funciona como una excelente enmienda del suelo, mejora su fertilidad y estructura, y puede ayudar a mitigar el cambio climático. De este modo, Alghamdi et al. (2024), afirman que los residuos de café Arábica pueden convertirse de manera efectiva en biocarbón y utilizarse como potentes enmiendas del suelo, puesto que demuestra su potencial como alternativa sostenible y rentable frente a las prácticas tradicionales de manejo del suelo.

Pese a los avances en el estudio del biocarbón como enmienda agrícola, persiste un vacío significativo en la literatura respecto a su aplicación específica en el compostaje de pulpa de café,



particularmente cuando se emplea biocarbón derivado de zoca de café. La mayoría de las investigaciones se han enfocado en evaluar los efectos del biocarbón aplicado directamente al suelo, evidenciando mejoras en propiedades físicas, químicas y biológicas. De igual manera, aunque existen investigaciones sobre la incorporación de biocarbón en procesos de compostaje, estos suelen utilizar materias primas distintas.

En consecuencia, existe una clara necesidad de investigaciones que evalúen de manera integral el compostaje de pulpa con la adición de biocarbón de zoca de café, con el fin de analizar el desarrollo de las propiedades fisicoquímicas del compost de acuerdo con la NTC 5167, como alternativa para el uso y aprovechamiento adecuado de estos residuos, además de aportar a la descontaminación en el área de influencia de la cuenca hidrográfica del río Guarapas.

7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación está enfocada en evaluar el efecto de distintas concentraciones de biocarbón de zoca en el proceso de compostaje de pulpa de café en la finca Villa Matilde - Centro experimental de Cotierra, en la vereda Honda Porvenir en el municipio de Pitalito, área de influencia de la cuenca río Guarapas en el departamento del Huila. El experimento fue diseñado bajo un esquema de tratamiento factorial a dos niveles. Es decir, se establecerán dos tratamientos con concentraciones de biocarbón del 20% y 30%, y el control (tratamiento de pulpa sin biocarbón). El proyecto se desarrollará durante un periodo estimado de un año, desde la preparación del compostaje hasta el análisis de las características fisicoquímicas respecto a la NTC5167 de 2004.

Este proyecto se enmarca en el proyecto sombrilla *Análisis de las cuencas hidrográficas de Colombia como sistema socioecológico* del grupo de investigación Centro de Altos Estudios en Cuencas Hidrográficas - CAECHI. Implica el desarrollo de dos trabajos de grado de la Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas a los cuáles están vinculados cuatro estudiantes como coinvestigadores, que optaron por esta opción de grado, dos docentes externas que son las directoras

de los trabajos de grado y un docente de la Universidad Santo Tomás, como codirector de ambos proyectos.

Este proyecto de investigación ha recibido financiación de la empresa Colombo-Suiza Cotierra y tiene un alcance correlacional, esta busca evaluar la eficiencia del biocarbón en el compost de subproductos del café.

8. MARCOS REFERENCIALES

8.1. Marco conceptual

8.1.1. Café

El café pertenece a la familia de las Rubiáceas y el género *Coffea* es el más importante (Sánchez, 2022), comprende más de 90 especies y es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial, por lo que tiene un valor económico importante, reconocido por su calidad y sabor (Park et al., 2025). La especie *Coffea arabica* L. es un cultivo tropical, establecido en más de 70 países, siendo Colombia uno de los productores más representativos, con un área cultivada de aproximadamente 850.000 ha, en regiones de altitudes que oscilan entre 1200 – 2000 m.s.n.m. (Cardona et al., 2025).

8.1.2. Pulpa de café

La pulpa es considerada como el principal subproducto del café, es uno de los componentes de la baya o cereza del café conocida como mesocarpio, representa alrededor de 40% del fruto fresco y se obtiene durante el despulpado en el beneficio húmedo del fruto (S. Martínez et al., 2019).

8.1.3. Zoca de café

La zoca de café es una práctica agronómica utilizada para renovar cultivos, que consiste en la poda del tallo a una altura aproximada de 30 cm desde el suelo, con el fin de estimular la formación de nuevos brotes y recuperar la productividad de la planta (Rendón et al., 2023).

8.1.4. Biocarbón

El biocarbón también conocido como biochar en el idioma inglés, son materiales orgánicos (tales como madera, hojas, paja, excretas, entre otros) carbonizados en ausencia de oxígeno, mediante un proceso conocido como pirólisis (Soto et al., 2023).

8.1.5. Compostaje

El compostaje es un método de descomposición biológica, en el cual los microorganismos regulan el proceso, bajo la influencia de parámetros fisicoquímicos como la temperatura, la aireación, la humedad, la relación C:N y el pH (Waqas et al., 2023).

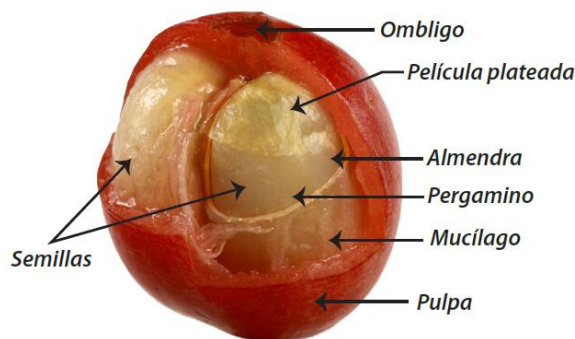
8.2. Marco teórico

8.2.1. Taxonomía del fruto de café

El fruto de café se describe como una drupa: un fruto carnoso e indehisciente (Ferreira et al., 2019). Está compuesto por el pericarpio conocido comúnmente como pulpa de café, el mesocarpio para referirse al mucílago de café, el endocarpio que es llamada por los caficultores como pergamino o cascarilla y el endospermo que es la misma almendra o semilla (Fernández Cortés et al., 2020).

Figura 1.

Taxonomía del fruto de café.



Nota. La imagen describe la composición de un fruto de café (Ramos et al., 2010).

8.2.2. Subproductos del café

El fruto de café está compuesto por el grano, piel plateada, pergamino, mucílago y pulpa; durante la producción de café molido, la única parte utilizada es el grano, y las demás partes se conocen como subproductos, estos son vertidos en el suelo sin tratamiento y pueden contaminar el medio ambiente; por lo tanto, más del 50% de la fruta del café es descartada cuando podría tener un uso potencial en la industria (Santos et al., 2021).

8.2.3. Beneficio húmedo del café

El beneficio del café se clasifica en seco, semi-seco y húmedo; en este último la pulpa se extrae mecánicamente, los granos se fermentan en agua y luego se deshidratan (Park et al., 2025). El proceso de beneficio húmedo inicia con la remoción de la pulpa del fruto mediante el uso de una despulpadora; posteriormente, los granos se someten a fermentación durante un periodo de 12 a 48 horas, dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas, y se realiza el lavado para extraer el mucílago; este método genera un mayor impacto ambiental asociado al elevado consumo de agua (Santos et al., 2021).

8.2.4. Pulpa de café

La pulpa de café (*Coffea arábica*) es un subproducto que se obtiene del beneficio producido en el momento del despulpado del grano, corresponde en base húmeda aproximadamente al 43,58% del peso del fruto en cereza (Moreno et al., 2016), es uno de los componentes de la baya o cereza del café conocida como mesocarpio, presenta una textura fibrosa y con sabor dulce; además, por cada kg de cerezas existe un contenido aproximado de 430 g de pulpa (S. Martínez et al., 2019).

8.2.5. Potencial de aprovechamiento de subproductos de café

Uno de los problemas más críticos en la caficultura es la acumulación de grandes cantidades de subproductos, esto trae consigo costos económicos y ambientales que están asociados a su gestión, y se debe a su carga contaminante causada por la lixiviación de compuestos fenólicos, que son vertidos a

cielo abierto sin un tratamiento previo; el contenido de ácidos fenólicos y los efectos mutagénicos de la cafeína hacen necesario tratar la pulpa de café antes de su distribución en el suelo, con el fin de reducir su impacto ambiental; el compostaje es una alternativa para la transformación ecológica y eficiente para la agricultura; a través de este proceso se resuelve problemas como la acumulación masiva y la desintoxicación (Hoseini et al., 2021).

8.2.6. *Compostaje*

Es un proceso de transformación aeróbica de la materia orgánica a partir de la acción de microorganismos como hongos y bacterias, en el cual los factores físicos, químicos y microbiológicos inciden en el metabolismo y aceleran la degradación de los residuos empleados con el fin de obtener un compost de alta calidad, reduciendo así los riesgos ambientales asociados a los lixiviados pueden contaminar los cuerpos de agua; durante sus etapas se deben considerar variables como la temperatura, el oxígeno, la humedad, el pH, el tamaño de partícula y la relación C/N, dado que estas determinan la velocidad de las reacciones de oxidación y las propiedades fisicoquímicas del compost obtenido (Bohórquez, 2019).

8.2.7. *Factores ambientales que afectan el compostaje*

La temperatura es un parámetro esencial para identificar las fases del compostaje, por lo cual debe ser monitoreada y controlada para evitar excesos que afecten la composición microbiológica y la calidad del compost; igualmente, la humedad es un indicador de descomposición de la materia orgánica en la pila de compost, y dependiendo de la humedad, ya sea que esté muy húmeda o seca, se debe intervenir la pila de compostaje (Pardo et al., 2024). La cantidad de oxígeno en el compostaje es indispensable para mantener una actividad metabólica adecuada; la falta de oxígeno incide negativamente en el proceso, podría convertirlo en anaeróbico y ocasionar malos olores; asimismo, un nivel de aireación excesivo puede disminuir la temperatura, humedad, y generar deshidratación en las



células de los microorganismos que puede retardar la degradación de los materiales orgánicos (L.

Martínez & Martínez, 2022).

8.2.8. Fases del compostaje

El compostaje comprende 3 etapas en el proceso de descomposición de la materia orgánica, que están definidas por variaciones de temperatura sumado la etapa de maduración del producto, estas se conocen como: mesófila que es la fase inicial del proceso, se caracteriza por la presencia de bacterias y hongos, aumenta la temperatura hasta los 45°C y tiene una duración de 2 a 8 días aproximadamente; la termófila es la segunda fase, en esta etapa alcanza temperaturas entre los 45°C y 70°C, reemplazan los microorganismos mesófilos por aquellos que en condiciones naturales de desarrollan en altas temperaturas y puede durar de 1 a 3 semanas; por último, se encuentra la fase de enfriamiento, la temperatura desciende entre 40 a 45°C, esta etapa puede durar varias semanas hasta alcanzar la etapa de maduración, un proceso de fermentación lenta (Muñoz Cuarán & Salamanca Ordoñez, 2023).

8.2.9. Compost

Es ampliamente reconocido como una enmienda orgánica del suelo que afecta positivamente las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, para mejorar la porosidad, retención de agua y conductividad hidráulica (Głąb et al., 2025).

8.2.10. Biocarbón

El biocarbón es un material poroso que contiene carbono que se forma como resultado de la conversión termoquímica de la biomasa vegetal, el tipo de materia prima empleado puede afectar la inmovilización de metales pesados en el suelo (Quispe & Velasquez, 2024). Se produce mediante la descomposición térmica de biomasa a diferentes temperaturas en condiciones anaeróbicas, proceso conocido como pirólisis, a partir de diversas materias primas como estiércol animal, residuos forestales, desechos verdes y residuos agrícolas, entre otros, y con un gran potencial para el secuestro de carbono



(Ayaz et al., 2025). Los estudios sobre el biocarbón han cobrado interés a partir del descubrimiento de los suelos Terra Preta en la Amazonía, los cuales demostraron un potencial como enmienda para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático (Stephen et al., 2021).

8.2.11. Pirólisis

La pirólisis de biomasa es un proceso termoquímico que descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno, ofreciendo una vía sostenible para convertir la biomasa en bioaceite, biocarbón y gas de síntesis, las más utilizadas son pirólisis lenta y pirólisis rápida (Parvari et al., 2025).

La temperatura de pirólisis incide en el incremento del área superficial, eleva el pH y las concentraciones de C, P, Ca y Mg en el biocarbón, probablemente debido a la pérdida de grupos funcionales ácidos, y a la formación de fases minerales de óxidos, hidróxidos y carbonatos que contienen Ca, Mg, Na y K, de igual forma altas temperaturas pueden favorecer la formación de compuestos aromáticos estables y complejos silicato-carbono, los cuales son considerados recalcitrantes frente a la oxidación microbiana, los biocarbones derivados de madera contienen mayores cantidades de carbono en comparación con aquellos producidos a partir de otras fuentes (Ippolito et al., 2020).

8.2.11.1. Pirólisis lenta

La materia prima para producción de biocarbón es sometida a procesos de pirólisis a temperaturas que varían entre 350 °C y superiores a 750 °C (Stephen et al., 2021). Este proceso se denomina pirólisis lenta (Soto et al., 2023), ocurre con un tiempo de residencia que varía entre pocos minutos, horas o días y alcanzan rendimientos en la producción de biocarbón entre el 25-35% (Sánchez, 2022), con velocidades de calentamiento lentas, en un rango de 0,1 a 2 °C por segundo y es utilizada principalmente cuando el objetivo es la obtención de carbón (Parvari et al., 2025).

8.2.11.2. Pirólisis rápida

La pirólisis rápida se realiza generalmente entre 450 y 600 °C, con altas velocidades de calentamiento (≈ 200 °C/min) y tiempos de residencia cortos (segundos), estas condiciones producen

menores rendimientos de biocarbón (10–20 %) y pueden generar biocarbones con menor poder calorífico y mayor contenido de oxígeno (Amalina et al., 2022).

8.2.12. Compostajes con biocarbón

La adición de biocarbón al compostaje mejora la aireación y retención de agua por su alto contenido de carbono y estructura porosa, ayuda a reducir olores al absorber compuestos orgánicos volátiles, y durante el proceso de compostaje puede acelerar la temperatura durante la fase termófila y mejorar la calidad del compost (Vides & Vargas, 2025). La aplicación de biocarbón y de biocarbón + compost mejora las condiciones biofísicas y químicas del suelo, y el suministro de nutrientes a las plantas (Agegnehu et al., 2017). El biocarbón se caracteriza por su alta capacidad de sorción, al ser utilizado como enmienda disminuye la pérdida de nitrógeno del material de compostaje al minimizar la volatilización de NH_3 (Khan et al., 2023). Además, La mezcla de biocarbón con compost mejora el rendimiento del compostaje al suministrar carbono más estable que puede compensar emisiones de CH_4 y NH_3 (Oldfield et al., 2018). En congruencia con las investigaciones realizadas por Agyarko et al. (2017), quienes afirman que el compostaje de gallinaza con biocarbón disminuyó la pérdida de Nitrógeno Total por volatilización de NH_3 en un 60% y 55%, a su vez, la adición del 20% de biocarbón al compost de gallinaza redujo las emisiones de NH_3 en un 64%.

Por otra parte, Abdelfadeel et al. (2025) recomiendan aplicar una tasa del 10 % de biocarbón de tronco de palma datilera, producido a una temperatura de 600 °C, durante los procesos de compostaje con estiércol de pollo, con el fin de equilibrar la relación C/N, lo cual puede acelerar la actividad microbiana y mejorar la retención de nutrientes, así como la estabilidad y calidad del compost. Por su parte, Fianko et al (2023) señalan que el pH del compost tiende a incrementarse con la adición de biocarbón de cáscara de maní a partir de una dosis entre 20% y 40%; asimismo, se observó un incremento en los contenidos de Ca, Mg, carbono total (CT) y la relación C: N; mientras que, por el contrario, los contenidos totales de Na y K disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de

biocarbón. De manera complementaria, Ahmed et al. (2022) indican que en estudios reportados de compostaje con biocarbón, la dosis utilizada tiene un efecto significativo sobre las propiedades del compost y en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, generalmente consideran que una tasa de aplicación de 10–15% es óptima para la adición de biocarbón, aunque se han reportado tasas de hasta 20–27%. Lo que concuerda con lo señalado por Nguyen et al. (2022), quienes indican que investigaciones realizadas sobre el compost con incorporación de dosis del 20% de biocarbón pueden mejorar la disponibilidad de oxígeno y acelerar la descomposición de la materia orgánica, debido a que su área superficial proporciona un hábitat ideal para los microorganismos, mientras que las dosis de biocarbón más habituales varían entre 1% y 20%.

De acuerdo con lo anterior, investigaciones recientes han evidenciado que la incorporación de biocarbón en el compostaje de diversos residuos orgánicos puede mejorar la aireación y aumentar la eficiencia del proceso. Sin embargo, la literatura científica presenta actualmente un vacío de información, dado que la mayoría de los estudios se han centrado en el compostaje de residuos de café o en la producción y aplicación de biocarbón de pulpa de café como enmienda directa en el suelo. En particular, no se han encontrado investigaciones que evalúen el efecto de la adición de biocarbón de zoca durante el compostaje de pulpa de café.

Para el caso de estudio en el área de la cuenca del río Guarapas, las concentraciones de biocarbón aplicadas obedecen a la necesidad de disminuir el exceso humedad y pH ácido de la pulpa de café (Rodríguez, 2023). Adicionalmente, Ninlaphong et al. (2025) afirman que la descomposición inadecuada de la pulpa de café produce la liberación de dióxido de carbono (CO_2), nitratos (NO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y fosfatos (PO_4^{3-}).

No obstante, el compostaje se ha asociado con la emisión de gases de efecto invernadero (CO_2 , N_2O y CH_4) y la generación de lixiviados que pueden generar malos olores; diversos estudios han demostrado que el biocarbón es una alternativa para optimizar el proceso de compostaje y la calidad del



compost (Tessfaw et al., 2020). Por ello, las dosis del 20% y 30% se consideran viables, de acuerdo con los estudios realizados por Nguyen et al., 2022, Fianko et al., 2023 y Ahmed et al., 2022.

Por lo tanto, resulta viable desarrollar estudios que analicen esta interacción con el fin de identificar el efecto de la adición de diferentes concentraciones de biocarbón en el compostaje con pulpa de café.

8.3. Marco Legal

8.3.1. NTC 5167 de 2022

La norma técnica Colombiana NTC 5167 de 2022, es un reglamento establecido por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), que tiene como objetivo establecer los requisitos óptimos para la obtención de productos como abonos, fertilizantes y enmiendas, para la industria agrícola con estándares de calidad (Velásquez Reyes, 2023).

Dentro de los parámetros a caracterizar de los abonos o fertilizantes orgánicos sólidos, se considera % de pérdidas por volatilización, % de contenido de cenizas, % humedad, relación C/N, densidad real (g/ml), % Carbono Orgánico Oxidable total (COOx), la riqueza de elementos mayores con un mínimo de 1% en cada uno de ellos, % de retención de humedad, el pH y otros (Icontec, 2022).

8.3.2. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica río Guarapas.

El POMCA río Guarapas es aprobado mediante la Resolución No. 3601 del 30 de diciembre de 2019 por el consejo directivo de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), el cual reconoce el área de la cuenca como una zona de vocación cafetera y establece la implementación de estrategias de reconversión productiva en su área de influencia, con el fin de promover su conservación y descontaminación.

Estas acciones se desarrollan a través de la línea estratégica N.º 2, denominada “Aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables”, la cual integra el programa “Manejo de los sistemas productivos de la cuenca”. Dentro de este programa se incluye el proyecto

“Implementación de buenas prácticas de manejo de recursos naturales renovables para las actividades agropecuarias y mineras en la cuenca”, que contempla actividades como el apoyo a iniciativas de transición hacia modelos de producción sostenible, con el objetivo de fomentar su implementación en el territorio.

De acuerdo con lo mencionado previamente, en el área de la cuenca del río Guarapas se encuentran actores como la empresa Cotierra S.A.S., que desarrollan iniciativas comunitarias de producción sostenible orientadas a la reducción de emisiones de CO₂, mediante la transformación de volúmenes considerables de biomasa proveniente de la zoca del café en biocarbón.

Asimismo, Cotierra S.A.S. adelanta investigaciones sobre su uso en el compostaje con pulpa de café, proceso en el cual la Universidad Santo Tomás y la Universidad Nacional de Colombia participan mediante la implementación de un experimento, enmarcado en el proyecto “Evaluación de la eficiencia del biocarbón obtenido de la zoca del café en el tratamiento de las aguas residuales del beneficio ecológico y en el compostaje de subproductos del café. Caso de estudio en el área influencia de la cuenca del Río Guarapas –Huila”, a través de la línea de investigación denominada “Evaluación de la eficiencia del biocarbón obtenido a partir de la zoca en el compostaje de subproductos del café en el área de influencia de la cuenca del Río Guarapas en el departamento del Huila”, con el fin de generar bases científicas y técnicas que permitan identificar alternativas para el adecuado manejo de los residuos agrícolas derivados del cultivo de café, así como incentivar la búsqueda de iniciativas que disminuyan la contaminación en los afluentes del río Guarapas.

8.4. Antecedentes o estado del arte.

Castro et al. (2016), en el estudio denominado “Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) del Municipio de Versalles, Valle del Cauca”; analizan el comportamiento de variables ambientales del compostaje, tales como la temperatura, pH, humedad, porosidad y espacio libre de aire. En este sentido,



el estudio permite analizar la incidencia de la humedad y, además, contrastar los resultados de la relación C/N en el compost.

Xiao et al. (2017), en el estudio denominado “Desarrollos recientes en la utilización de biocarbón como aditivo en el compostaje de residuos sólidos orgánicos: una revisión”, afirman que el biocarbón presenta potencial para mejorar el compostaje, ya que incide de manera positiva en las propiedades fisicoquímicas de la mezcla, así como en la actividad microbiana responsable de la descomposición del material orgánico. Asimismo, contribuye a la reducción de emisiones de amoníaco, GEI y fitotoxicidad. Adicionalmente, los rendimientos del compostaje pueden verse influenciados por factores como la concentración de biocarbón, el momento de aplicación y su origen; sin embargo, no recomiendan una tasa de aplicación de biocarbón superior al 20 % (en peso fresco). Bajo este enfoque, el artículo valida la efectividad del biocarbón en el compost y sugiere no exceder aplicaciones superiores al 20% en los experimentos, lo cual soporta la cantidad de biocarbón a aplicar en los tratamientos para el presente estudio.

Carvajal Flórez (2019), en el estudio titulado “Modelo de sorción para la remoción de cobre y plomo de lixiviados de rellenos sanitarios”, realiza la caracterización de parámetros estructurales, tales como el área superficial y el tamaño de poro, del biocarbón obtenido a partir de pulpa de café, así como de su composición conformada por lignina, celulosa y hemicelulosa. En este contexto, esta investigación se considera un referente, ya que permite priorizar parámetros relevantes que deben ser considerados en la caracterización del biocarbón.

Fandiño & Gutierrez (2019) desarrollaron un estudio orientado al “Diseño e implementación de un sistema de compostaje como alternativa en la transformación y utilización de los residuos sólidos orgánicos en la Fundación Manantial de Paz y Esperanza del municipio de Macanal (Boyacá)”, cuyo aporte principal es la formulación de un manual técnico para la elaboración de compost, en el cual se consideran los factores ambientales como elementos determinantes de la calidad del producto final. De

este modo, el estudio es un insumo que define lineamientos técnicos que se deben tener en cuenta en la producción de compost.

Flores et al. (2021) en la investigación sobre “Parámetros fisicoquímicos de madurez en la mezcla vermicomposteada pulpa de café-estiércol vacuno”, evaluaron la tasa de mineralización en diferentes tratamientos y la relación C/N. A partir de estos resultados, la investigación constituye un antecedente relevante, ya que aporta valores de referencia sobre la relación C/N en compost elaborado a partir de pulpa de café.

L. Martínez & Martínez (2022), en el proyecto denominado “Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos de cultivos generados en diferentes municipios del departamento de Córdoba (Puerto Escondido, Chinú, Cereté y Montería)”, analizaron los parámetros fisicoquímicos del producto final según la norma NTC-5167 mediante análisis de varianza, encontrando diferencias significativas entre los tratamientos. Se considera que este estudio permite tener una base para el análisis de resultados del compostaje y así comparar los parámetros fisicoquímicos en contraste con la NTC 5167.

Velásquez Reyes (2023) desarrolló un estudio orientado al “Análisis fisicoquímico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa residual de “El Carrasco”, según la normativa NTC 5167 de 2004”; cuyo enfoque consistió en diagnosticar el estado de la gestión de residuos orgánicos implementada en la planta de compostaje, mediante el muestreo del material por lotes de acuerdo con su composición y la caracterización fisicoquímica del abono conforme a los estándares normativos, cuyos resultados indican que el tiempo de compostaje oscila entre 3 - 5 meses y cumplen con los criterios definidos por la NTC, excepto en el contenido de humedad, el cual presentó valores superiores a los permitidos. El estudio aporta antecedentes relevantes para el análisis de parámetros fisicoquímicos del compost.

Según los estudios realizados por Bustinza & Gomero (2023), en el artículo titulado “Optimización del proceso de compostaje con la pulpa de café en el anexo Unión Pucusani (Chanchamayo - Junín)”; se evidenció que la combinación de ceniza con estiércol de cuy incrementó los



contenidos de CaO y el MgO, lo cual a su vez elevó el pH y la CE; En contraste, el compostaje con sólo estiércol de cuy aumentó los niveles de MO, N, K₂O y MgO. Estos resultados permiten inferir que la aplicación de diferentes fuentes de materia orgánica incide en el contenido de calcio y magnesio, así como en su relación con el pH del compost.

S. Aguirre et al. (2023) en su investigación titulada “Biocarbón: Estado del arte, avances y perspectivas en el manejo del suelo”, analizaron 253 artículos científicos y seleccionaron 119 trabajos relevantes. En su estudio, se evidencia un creciente interés en el uso del biocarbón como acondicionador del suelo, agente de remediación, mitigador de gases de efecto invernadero (GEI) y descontaminador de aguas. Este trabajo proporciona referencias clave sobre diversas fuentes y aplicaciones del biocarbón en contextos ambientales y agronómicos.

Vides & Vargas (2025), en el marco del proyecto “Evaluación del efecto del biocarbón en el Co-compostaje de estiércol de pollo en condiciones ambientales del páramo de Berlín”, seleccionaron una dosis del 5% de biocarbón para adicionar al compostaje, asimismo analizaron la influencia del biocarbón durante el proceso de co-compostaje de estiércol de pollo y su efecto en la calidad del producto final, afirman que la mayoría de investigaciones han señalado que el biocarbón es altamente compatible con una amplia variedad de materiales orgánicos, con dosis comúnmente utilizadas entre el 1% y el 10%, destacando sus efectos positivos en el proceso de compostaje. En este contexto, el estudio permite identificar dosis de biocarbón aplicadas en compostajes con diferentes materiales orgánicos y aporta una base para su incorporación en los tratamientos con pulpa de café.

De acuerdo con estudios realizados por Olivera et al. (2025) sobre “Co-compostaje a escala comercial de biocarbón derivado de madera con la fracción orgánica seleccionada en origen de los residuos sólidos urbanos”, analiza el efecto de la aplicación del 10% de biocarbón producido a partir de madera sobre compostaje de residuos sólidos domiciliarios, donde evidencia que el tratamiento con biocarbón favorece la estabilización de temperaturas termofílicas y reduce las emisiones de metano y



amonio. Lo cual sirve como base para comparar el comportamiento de la variable temperatura, durante el proceso de compostaje con las diferentes concentraciones de biocarbón aplicadas en los tratamientos.

Según estudios de Gu et al. (2025) en el artículo titulado “Los componentes de la materia orgánica, más que las enzimas y genes microbianos, predominan en las emisiones de CO_2/CH_4 durante el compostaje enmendado con biocarbón en diferentes etapas”, evaluaron el comportamiento del biocarbón desde su inicio del proceso (día 0) y a los 10 días, con el fin de determinar las emisiones de CO_2 y CH_4 durante el compostaje, así como las propiedades fisicoquímicas del compost; cuyos resultados indicaron que la adición de 5% y 10% de biocarbón en el día 10 redujo las emisiones de CH_4 un 17% y 50%, respectivamente. Estos hallazgos permiten inferir que concentraciones moderadas de biocarbón en los tratamientos de compostaje pueden incidir positivamente en la disminución de las emisiones de CH_4 durante el proceso.

Mi et al. (2025), en el artículo denominado “Mejorar la calidad del compost: el papel del biocarbón y la zeolita en la transformación y retención del nitrógeno”, evaluaron la incidencia de la adición de biocarbón y zeolita en la transformación y retención del nitrógeno durante el compostaje de residuos de cocina; para ello, establecieron cuatro tratamientos, dos de los cuales incluyeron concentraciones de biocarbón del 5% y 10%, lo que permitió evidenciar que estos materiales desempeñan un papel activo en los procesos de nitrificación. Este estudio aporta bases científicas sobre la influencia de diferentes concentraciones de biocarbón y la zeolita en la mineralización del nitrógeno.

Oviedo et al. (2025), en la investigación denominada “Efecto de la adición de biocarbón en dos fases diferentes del co-compostaje de residuos verdes y residuos de alimentos: un análisis del proceso, la calidad del producto y la comunidad microbiana”, evaluaron el efecto de biocarbón en dos tratamientos de compostaje con materiales orgánicos, aplicados durante las etapas mesófila y termófila; de igual manera definieron criterios para el control de factores ambientales y demostraron que la adición del biocarbón en concentraciones del 2% y 5% optimiza la calidad del compost, cuyos resultados fueron

contrastados con los parámetros establecidos en la NTC 5167. Este artículo constituye un insumo para evaluar el comportamiento del compostaje a partir de la aplicación del biocarbón en las fases mesófila y termófila.

Según los estudios realizados por Manka'abusi et al. (2025) en el artículo denominado "Efectos del biochar en la dinámica del carbono y el nitrógeno durante el co-compostaje de estiércol de pollo con materiales orgánicos carbonizados y no carbonizados en África subsahariana", el biochar reduce las pérdidas de C y N en el proceso de compostaje de materiales orgánicos, eleva los valores de pH y CIC. Este estudio permite comparar la efectividad del biocarbón sobre los parámetros fisicoquímicos durante el compostaje.

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo y enfoque de investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la medición y análisis estadístico de variables como la temperatura y las propiedades fisicoquímicas del compost.

El tipo de investigación es experimental, debido a que se manipula deliberadamente una variable independiente (proporción de biocarbón) para evaluar su efecto sobre el proceso de compostaje, manteniendo constantes las demás condiciones operativas.

El diseño experimental corresponde a un esquema comparativo con unidad control y tratamientos, lo cual permite identificar el efecto del factor de estudio mediante el análisis de la respuesta de las variables evaluadas.

Asimismo, el estudio incorpora un análisis estadístico descriptivo e inferencial que permite interpretar los resultados obtenidos y establecer tendencias en el comportamiento del sistema.

9.2. Fuente y uso del biocarbón

Para el desarrollo del estudio, se utilizó biocarbón obtenido a partir de zoca de café, producido por la empresa Cotierra S.A.S. en la finca Villa Matilde, ubicada en la vereda Honda Porvenir, municipio de Pitalito, Huila, dentro del área de influencia de la cuenca del río Guarapas. El biocarbón fue caracterizado en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas con el fin de estimar su potencial para el uso agrícola. Posteriormente, se evaluó la eficiencia de su aplicación sobre las propiedades fisicoquímicas del compost de pulpa de café, conforme a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2022. Para ello, se aplicaron concentraciones del 20 % y 30 % de biocarbón durante el proceso de compostaje desarrollado en la presente investigación.

9.3. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del biocarbón de zoca de café.

El biocarbón fue producido por la empresa suiza Cotierra y ha sido obtenido a partir de la zoca del café por medio de pirólisis lenta en un horno simple libre de emisiones, denominado Kon tiki, con capacidad de 500 kg y una temperatura máxima oscila entre 600 a 630°C. Posteriormente, el biocarbón fue triturado en un molino marca Trapp de doble aspa con capacidad para 704 litros/hora.

Seguidamente, se realizaron análisis de laboratorio, financiados por Cotierra S.A.S., para la determinación de las siguientes características fisicoquímicas: el área superficial, tamaño de poro y volumen de poro, calculados a partir de isothermas de adsorción de CO₂ a 237 K mediante el modelo de adsorción de Dubinin Raduskevich, aplicado por el Laboratorio de Ciencias de la Energía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Asimismo, se determinó el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa a partir del método de fibra en detergente neutro y ácido, en base húmeda y seca, por el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Adicionalmente, se estimaron los parámetros que se describen en la siguiente tabla, mediante análisis realizados por el laboratorio Eurofins Umwelt Ost GmbH, Alemania:

Tabla 1.

Propiedades del biocarbón.

Parámetro	Método
Densidad aparente	VDLUFA A 13.2.1.
Densidad a granel	Norma DIN EN ISO 17828: 2016-05
Capacidad de retención de agua	DIN EN ISO 14238. A. 2014-03
Contenido total de agua	DIN 51718: 2002-06
Contenido de cenizas (550°C)	DIN 51719: 1997-07
Carbono total	DIN 51732: 2014-07
Carbono orgánico	DIN 51726: 2004-06
Nitrógeno total	DIN 51732: 2014-07
Azufre (S)	DIN 51724-3: 2012-07
Carbonato CO ₂	DIN 51726: 200406
pH en CaCl ₂	DIN ISO 10390: 2005-12
Oxígeno	DIN 51733: 2016-04

Nota. Métodos utilizados para determinar propiedades fisicoquímicas del biocarbón. Adaptado de los análisis de resultados del laboratorio Eurofins Umwelt Ost GmbH.

Figura 2.

Proceso de producción del biocarbón.

Zoca de café	Prototipo de kontiki	Biocarbón
--------------	----------------------	-----------



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
—SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ—



Nota. Estas imágenes presentan el proceso de producción de biocarbón en el año 2025, realizado por

Cotierra S.A.S en la finca Villa Matilde en la vereda Honda Porvenir, municipio de Pitalito - Huila.

9.4. Elaboración del compostaje de pulpa de café con la incorporación de biocarbón

9.4.1. Área de estudio

La elaboración del compostaje de pulpa de café de la especie *Coffea arabica* de la variedad “Colombia” con biocarbón de zoca de café, se llevó a cabo en el predio Villa Matilde, ubicado geográficamente en las coordenadas N 01°49’04.0” W 76°02’49.3”, a una altitud de 1289 m.s.n.m., en la vereda Honda Porvenir del municipio de Pitalito, área de influencia de la cuenca del río Guarapas en el departamento del Huila.

9.4.2. Instalación del ensayo

Para la elaboración del compostaje se dispone de una infraestructura en guadua con techo y aislamiento del suelo en lona de fibra impermeable, para evitar la incidencia de precipitación e infiltración de lixiviados en el suelo.

9.4.3. Diseño del experimento

El diseño experimental se estructuró bajo un esquema factorial de un solo factor, con dos tratamientos y un control, con tres réplicas por tratamiento. con el objetivo de evaluar el efecto de distintas proporciones de biocarbón de zoca de café en el proceso de compostaje de pulpa de café. Se

establecieron concentraciones de biocarbón del 20% y 30%. Para ello, se definió un volumen base de 1000 litros por cada pila de compostaje.

Tratamiento 1 (T1): *30% biocarbón + 70% pulpa de café, con tres repeticiones en pilas móviles.*

Los materiales fueron incorporados en capas: En la primera capa se incorporaron 55 litros de biocarbón, seguida de 350 litros de pulpa de café; luego, se añadieron 95 litros de biocarbón, seguidos de otros 350 litros de pulpa fresca, y finalmente 150 litros de biocarbón. Se garantizó la homogeneización de la mezcla mediante tres volteos manuales por pila.

Tratamiento 2 (T2): *20% biocarbón + 80% pulpa de café, con tres repeticiones en pilas móviles.* La incorporación del biocarbón se realizó mediante cinco capas de 40 litros cada una, intercaladas con cuatro capas de 200 litros de pulpa fresca. Al igual que en el tratamiento anterior, se llevaron a cabo tres volteos manuales para garantizar una mezcla uniforme.

Control: *Pulpa de café sin la adición de biocarbón, dispuesta en una pila móvil y bajo las mismas condiciones generales que los tratamientos experimentales.*

9.4.4. Número de réplicas

Para cada condición experimental (control, tratamiento nivel 1 y tratamiento nivel 2) se establecieron tres réplicas, con el fin de garantizar la validez estadística de los resultados, ya que estas ayudan a controlar la variabilidad inherente al sistema y asegurar que cualquier diferencia entre grupos sea realmente causada por el tratamiento. En contraste, para el tratamiento control, se dispuso una única pila, establecida como una referencia base del comportamiento natural del proceso de compostaje sin la adición de biocarbón, cuyo propósito principal fue servir como punto de comparación frente a los tratamientos experimentales.

En este sentido, el énfasis del diseño experimental se centró en evaluar el efecto de la incorporación de biocarbón en diferentes proporciones, por lo que se priorizó la replicación en los tratamientos donde se esperaba la variabilidad inducida por el factor de estudio. Adicionalmente, el

monitoreo continuo de variables como la temperatura a lo largo del tiempo permitió contar con un número elevado de observaciones dentro de cada unidad experimental, lo cual contribuye a la robustez del análisis y reduce la necesidad de replicación en el control.

Si bien la ausencia de réplicas en el control limita la estimación de su variabilidad interna, no compromete la interpretación de las tendencias comparativas del estudio, dado que el objetivo principal fue analizar el comportamiento relativo de los tratamientos con biocarbón frente a una condición base.

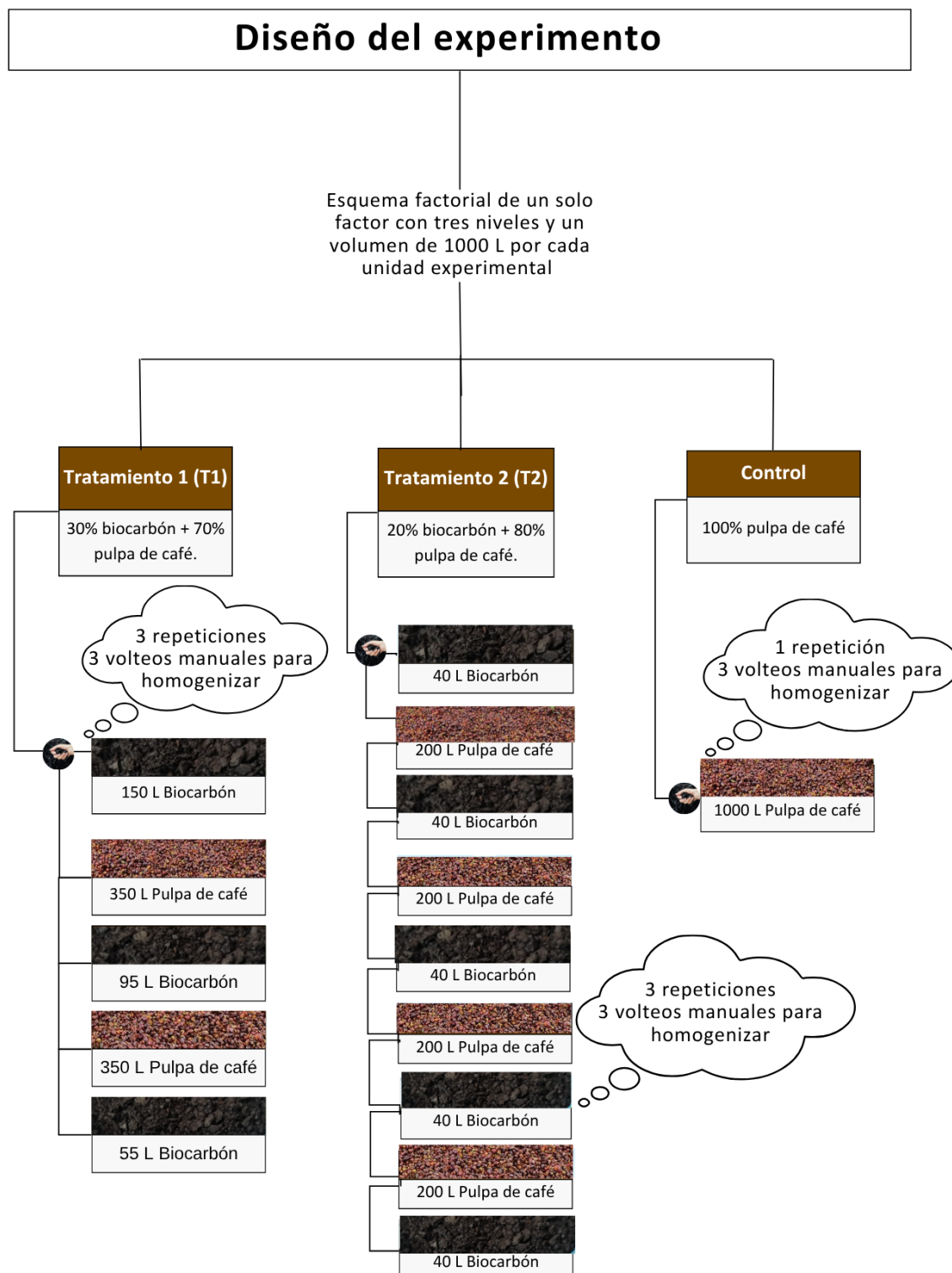
9.4.5. Diagrama del diseño experimental

El diseño experimental empleado correspondió a un esquema factorial de un solo factor, relacionado con la proporción de biocarbón incorporado en el proceso de compostaje. Se establecieron tres niveles de tratamiento: un control (0% de biocarbón), un tratamiento con 20% de biocarbón y un tratamiento con 30% de biocarbón, cada uno con tres réplicas independientes, para un total de siete unidades experimentales.

El proceso de compostaje se desarrolló durante un periodo de 83 días, desde la fase inicial hasta la etapa de maduración del compost. Durante este tiempo, se realizó el monitoreo de variables como temperatura, humedad y aireación, con el fin de garantizar condiciones óptimas para la actividad microbiana y la degradación de la materia orgánica.

Figura 3.

Diagrama del diseño experimental.



Nota. La figura 3 presenta un diagrama del diseño experimental realizado con las proporciones de materiales orgánicos seleccionados para las pilas de compostaje y sus repeticiones por tratamiento, incluido el control.

9.4.6. Método de Compostaje

El compostaje se realizó en pilas móviles, considerando como elementos clave del proceso el monitoreo diario de la temperatura, la aireación y la hidratación. La temperatura fue registrada en tres puntos de cada pila mediante termómetros análogos, y los volteos se realizaron cada 7 días en función del comportamiento de la curva de temperatura, con el propósito de asegurar una adecuada oxigenación, factor que influye directamente en la actividad microbiana.

Por otra parte, para mantener la humedad a nivel de capacidad de campo, se aplicó riego cada 15 días con agua sin tratar. Finalmente, el proceso de compostaje tuvo una duración de 83 días.

En la siguiente figura se presentan las diferentes etapas del proceso desarrollado durante el experimento:

Figura 4.

Montaje de tratamientos.



Alistamiento de pulpa de café para la elaboración de pilas de tratamientos.



Montaje del experimento en la finca Villa Matilde – Centro experimental Cotierra S.A.S. (Incorporación de materiales).



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS



Homogenización de las réplicas mediante volteos manuales.



Pilas de tratamiento.

Nota. Las imágenes evidencian el proceso de montaje de los tratamientos con sus respectivas réplicas.

Figura 5.

Monitoreo diario de temperatura para la optimización del compostaje.



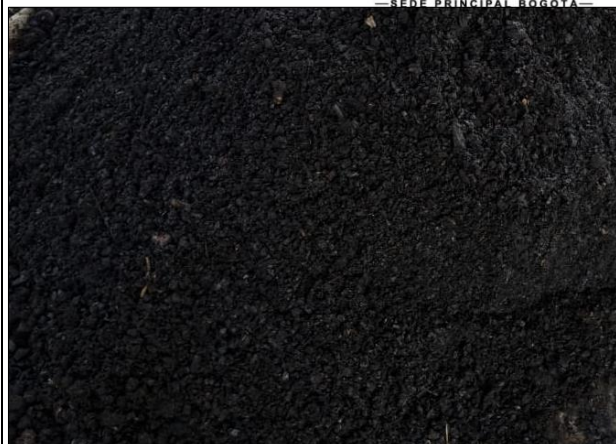
Monitoreo diario de temperatura de las pilas de compostaje con termómetro análogo.



Aireación forzada para el control de picos altos de temperatura.



Composteras utilizadas para el proceso de maduración del compost.



Compost.

Nota. Las imágenes evidencian el monitoreo diario de la temperatura y medidas de manejo para obtención del compost.

9.4.7. Análisis de datos

9.4.7.1. Visualización gráfica del monitoreo de temperatura

Se emplearon gráficos de líneas y diagramas de caja para representar y analizar el comportamiento de la temperatura en los dos tratamientos de compostaje con biocarbón al 20 % y 30 %, comparándolos con la muestra control.

9.4.8. Variables

9.4.8.1. Las variables independientes

- Tratamientos establecidos en las concentraciones del 20% (T1), 30% (T2) y el control (Sin adición de biocarbón).

9.4.8.2. Variables dependientes

- *Parámetros fisicoquímicos:* humedad, pH, contenido de cenizas, capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), densidad real, carbono orgánico oxidable (COOx), relación carbono/nitrógeno (C/N), nitrógeno total (NT), nitrógeno orgánico, fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O), calcio (CaO) y magnesio (MgO).

Estos parámetros fueron determinados mediante análisis de laboratorio, empleando metodologías estandarizadas según la NTC 5167, en las siguientes unidades: la humedad se expresó en porcentaje (%), la C.I.C. en meq/100g, la densidad real en g/cm³, el carbono orgánico oxidable, el nitrógeno y los macronutrientes (P₂O₅, K₂O, CaO y MgO) en porcentaje (%) y el pH en unidades de pH a través del método ISO 10390.

Las mediciones se realizaron al finalizar la etapa de maduración del compost, con el fin de evaluar los efectos generados por la adición de biocarbón.

- *Tiempos de Compostaje*: el proceso tuvo una duración 83 días, periodo en el cual se desarrollaron la etapa mesófila, termófila y de enfriamiento. Los tiempos del compostaje pueden variar en función de la composición de los materiales, las condiciones ambientales y la temperatura.

El monitoreo de la temperatura se registró diariamente en tres puntos de cada pila de compostaje mediante el uso de termómetros análogos, expresándose en grados Celsius (°C), con el fin de controlar los picos térmicos durante las diferentes fases del proceso.

Asimismo, la humedad se estimó periódicamente a través de la prueba de puño y se controló en función de su comportamiento con la aplicación de agua sin tratar. Por último, el contenido de humedad fue determinado mediante análisis de laboratorio, con resultados reportados en porcentaje (%), una vez obtenido el producto final.

9.4.8.3. Variables exógenas

Durante la evaluación de la combinación de biocarbón y pulpa de café en el proceso de compostaje, se identificaron diversas variables exógenas que pueden influir tanto en el desarrollo del proceso como en la calidad final del compost. Estas variables no fueron medidas directamente; No obstante, fueron observadas y consideradas durante el desarrollo del ensayo, procurando minimizar su influencia sobre los resultados. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- *Condiciones Ambientales:* la temperatura ambiental y los niveles de humedad en las pilas de compostaje, pueden afectar la actividad microbiana y la tasa de descomposición.
- *Parámetros Físicos del Ambiente:* factores como el viento y la exposición al sol pueden influir en la temperatura y la humedad de la pila de compostaje. Asimismo, la cantidad de precipitación puede afectar directamente la humedad de la pila y, por tanto, el desarrollo del proceso de compostaje.

9.4.9. Muestreo

El muestreo se realizó una vez alcanzada la etapa de maduración del compost, según las recomendaciones del laboratorio AGRILAB, donde fueron analizadas las muestras del experimento.

9.4.9.1. Volumen de alícuotas

Para el presente estudio, se realizó el análisis fisicoquímico conforme a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167:2022. Para ello, se definió un volumen de 500 g por alícuota, extraída de cada pila de compost, siguiendo los lineamientos del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) dispuestos en la NTC-ISO 8633. La obtención de las muestras se llevó a cabo mediante la extracción de siete alícuotas por cada unidad experimental, las cuales fueron homogeneizadas por separado. A partir de esta mezcla, se definió la alícuota final de 500 g. por repetición. Estas muestras fueron empacadas en bolsas herméticas, debidamente rotuladas, y enviadas al laboratorio Agrilab para su respectivo análisis fisicoquímico, conforme al marco normativo vigente.

El análisis incluyó la determinación de los siguientes parámetros: humedad, densidad real y contenido de cenizas mediante el método gravimétrico; capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y nitrógeno orgánico mediante el método volumétrico; carbono orgánico oxidable (COOx) con el método colorimétrico; fósforo (P_2O_5) por colorimetría; relación carbono/nitrógeno (C/N) mediante relación matemática; nitrógeno total (NT) por sumatoria; y potasio (K_2O), calcio (CaO) y magnesio (MgO) mediante la técnica ácido perclórico. Finalmente, la determinación del pH se realizó mediante el método ISO 10390 en el laboratorio de Procesos Biogeoquímicos de la Universidad de la Amazonia.

En total, se obtuvieron siete muestras, incluyendo la correspondiente al tratamiento control (pulpa de café sin adición de biocarbón).

Figura 6.

Muestras de compost.

Toma de muestras	Muestras en empacadas y rotuladas.	Embalaje de las muestras para el envío al laboratorio.
		

Nota. Proceso de toma de muestras y envío para los análisis fisicoquímicos de laboratorio.

9.5. Análisis de las características fisicoquímicas del compost

Una vez obtenido los resultados de laboratorio, se analizaron los parámetros fisicoquímicos del compost: *humedad, pH, contenido de cenizas, capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), densidad real, carbono orgánico oxidable (COOx), relación carbono/nitrógeno (C/N), nitrógeno total (NT), nitrógeno orgánico, fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O), calcio (CaO) y magnesio (MgO).*

Los resultados fueron comparados con los estándares establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2022. Los análisis estadísticos de los datos se realizaron mediante análisis de varianza (ANOVA), para identificar diferencias significativas entre los tratamientos en cada variable de respuesta.

9.5.1. Análisis de datos

El tratamiento de los datos se realizó con la aplicación de los siguientes métodos estadísticos:

Análisis de varianza: Los análisis estadísticos de los datos se realizaron mediante análisis de varianza (ANOVA), para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos utilizados para cada una

de las variables de respuesta (humedad, pH, contenido de cenizas, C.I.C, densidad real, COOx, C/N, N, P₂O₅, K₂O, CaO y MgO).

Según las diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey HSD para identificar como difieren los grupos entre sí.

Regresión lineal o no lineal: Para comparar las pendientes de las regresiones para determinar si los cambios de temperatura son más rápidos o lentos con un nivel específico de biocarbón.

Variabilidad de temperatura: Para comparar la estabilidad térmica entre niveles de biocarbón calculando el coeficiente de variación (desviación estándar/media).

Las mediciones de temperatura se realizaron de manera diaria durante el proceso de compostaje, y al finalizar se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, seguido de una prueba de comparación múltiple de Tukey al 95 % de confianza para identificar qué grupos diferían entre sí.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1. Caracterización de las propiedades del biocarbón

Caracterización de las propiedades fisicoquímicas, lignocelulósicas y área superficial del biocarbón de zoca de café, producido a partir de pirólisis lenta por la empresa Cotierra S.A.S.

10.1.1. Análisis de los parámetros físicos-estructurales del biocarbón

Tabla 2.

Análisis de parámetros físicos-estructurales del biocarbón.

Parámetro	Valor Reportado
Área superficial equivalente (m ² /g)	307,31
Volumen límite de microporos (cm ³ /g)	0,1147 ± 0,000015
Capacidad límite de microporos (cm ³ /g)	62,67



Área superficial single point (m^2/g) 190,98

Nota. Se realizó el análisis de los parámetros físicos - estructurales del biocarbón de zoca de café para determinar su eficiencia en el compostaje de pulpa de café. Realizado por el Laboratorio de Ciencias de la Energía de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, para esta investigación.

El biocarbón de zoca de café (BZC) presentó un área superficial de $307,3 \text{ m}^2/\text{g}$, lo que evidencia una porosidad alta que puede favorecer la retención de agua, nutrientes y microorganismos durante el compostaje con pulpa de café. En este sentido, Wang et al. (2024) señalan que la regulación de la porosidad del biocarbón constituye una técnica que permite mejorar la eficacia del compostaje, dado que, en su estudio, el biocarbón obtenido a partir de madera de pino presentó un área de superficie específica de $380,03 \text{ m}^2/\text{g}$, y su incorporación al compostaje de estiércol de porcino mejoró el entorno microbiano.

Zou et al. (2025) indican en su investigación sobre biocarbón que la temperatura de pirólisis, el área superficial y el volumen de poro son factores determinantes en la calidad del compost, lo que define la tasa de aplicación en el compostaje.

A su vez, Labanya et al. (2022) sostienen que el área superficial específica del biocarbón es influenciada por el aumento de la temperatura de pirólisis; en el caso del biocarbón de acículas de pino, una temperatura de pirólisis de 450°C incrementó el área superficial específica en comparación con 300°C , debido a la pérdida de materia volátil (resinas y aceites) a temperaturas más elevadas. Como resultado, se evidenció un mejor desarrollo de los poros y superficies más limpias.

Adicionalmente, Sánchez-Monedero et al. (2018) afirman que el biocarbón presenta propiedades fisicoquímicas favorables, tales como alta porosidad y área superficial, lo que favorece el desarrollo microbiano y permite la interacción con los ciclos biogeoquímicos, la degradación y humificación de la materia orgánica, así como procesos como la nitrificación, la desnitrificación y la metanogénesis en la pila de compostaje. Desde esta perspectiva, se puede inferir que los resultados para



el BZC pueden estar asociados a la temperatura de pirólisis empleada (600 y 630 °C), la cual contiene características estructurales (área superficial y volumen de microporos) que puede favorecer la descomposición de residuos orgánicos, como la pulpa de café, durante el proceso de compostaje.

10.1.2. Contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa

Tabla 3.

Análisis del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa en base húmeda y seca.

Análisis	Reporte	Reporte
	(Base húmeda)	(Base seca)
Lignina (%)	9,1	19,1
Hemicelulosa (%)	0,4	0,8
Celulosa (%)	30,7	64,5

Nota. Se realizó el análisis del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa del biocarbón de zoca de café para determinar su eficiencia en el compostaje de pulpa de café. Realizado por el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, para esta investigación.

El BZC presentó contenidos en base seca de hemicelulosa del 0,8 %, celulosa del 64,5 % y lignina del 19,1 %. Los resultados obtenidos se deben a la diferencia de la estabilidad térmica entre la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, que son los principales componentes de la materia orgánica de la biomasa, ya que la hemicelulosa se degrada a temperaturas entre 220 y 315 °C; la celulosa entre 315 y 400 °C; y la lignina por su parte al presentar una estructura más compleja, tiene un amplio rango de degradación térmica (160–900 °C)(Kalina et al., 2022). Con base a lo anterior, se puede evidenciar que la hemicelulosa presenta un contenido cercano a cero, debido a su rápida descomposición en la primera fase de la pirólisis.

De acuerdo con Yu et al. (2026), las maderas duras suelen generar mayores rendimientos de carbón, debido a que la lignina posee una mayor estabilidad térmica durante el proceso de pirólisis, atribuida a



su estructura aromática y altamente reticulada. Por su parte, Labanya et al. (2022) señalan que la biomasa vegetal de especies leñosas contiene entre 19,25 % y 21,50 % de lignina, 47,25 % y 55,73 % de celulosa y 11,80 % y 18,23 % de hemicelulosa, ya que el origen de los materiales y la naturaleza de la especie vegetal influyen en la proporción de biopolímeros, como la hemicelulosa, la celulosa y la lignina, los cuales se degradan en diferentes rangos de temperatura dependiendo del tipo de pirólisis al que sea sometida la biomasa. Asimismo, Kalina et al. (2022) afirman que el biocarbón producido a partir de especies leñosas, presentan altos contenidos de lignina, tienden a ser más estables, recalcitrantes y con mayores contenidos de carbono. En contraste con estos planteamientos, y de acuerdo con los resultados obtenidos para el BZC, se considera que este biocarbón presenta una alta estabilidad y gran potencial para la producción de compost con pulpa café.

10.1.3. Propiedades fisicoquímicas del biocarbón

Tabla 4.

Propiedades del biocarbón.

	Nombre la muestra		Muestra de biocarbón 1		Muestra de biocarbón 2	
	Número de muestra		124090679		124090686	
Nombre del parámetro	bg	Unidad	anl	wf	anl	wf
Densidad aparente < 3 mm	-	kg/m ³		272		273
Capacidad de retención de agua (WHC) <2mm	-	%	-	154,4	-	147,3



Contenido de cenizas (550°C)	0,1	Masa%	4,8	5,2	1,9	2,0
Carbono total	0,2	Masa%	81,9	88,3	87,2	89,4
Hidrógeno (H)	0,1	Masa%	1,6	1,7	2,7	2,8
Nitrógeno total (NT)	0,05	Masa%	1,05	1,13	0,32	0,33
Azufre (S)	0,03	Masa%	0,05	0,06	<0,03	< 0,03
Carbonato CO ₂	0,4	Masa%	1,1	1,2	2,3	2,4
Oxígeno (O)	-	Masa%	3,4	3,6	5,4	5,5
Carbono total	-	Masa%	81,9	88,3	87,2	89,4
pH en CaCl ₂	-		8,8	-	8,6	-

Nota. Esta tabla describe los análisis de las propiedades del biocarbón de zoca de café. Realizados por el

Laboratorio *Eurofins Umwelt Ost GmbH*, para la presente investigación.

Para el BZC, se determinaron concentraciones de carbono total de 88,3% para la muestra 1 y 89,4% para la muestra 2, lo que indica un alto grado de carbonización y estabilidad estructural del material. Estos resultados pueden relacionarse con lo expuesto por De Oliveira Paiva et al. (2024), quienes señalan que el contenido total de C en biocarbón derivado de especies leñosas es directamente proporcional a la temperatura de pirólisis; En este sentido, biocarbones lignocelulósicos pirolizados a 750 °C, pueden alcanzar valores de hasta 96 % de C, producto de procesos como la polimerización y la pérdida de elementos volátiles (H, O, N y S) durante la pirólisis. En consecuencia, los valores obtenidos sugieren que el BZC presenta características propias de un biocarbón altamente recalcitrante, lo cual es óptimo para uso agrícola.

Asimismo, el BZC presentó valores de N total de 1,13% para la muestra 1 y 0,33% para la muestra 2, lo cual evidencia un bajo contenido de N, característico de biocarbones producidos a altas



temperaturas de pirólisis. Estos resultados coinciden con lo reportado por De Oliveira Paiva et al. (2024), quienes registraron proporciones de N inferiores al 1 %, lo que limita su aporte directo como fuente de N, pero con un potencial como enmienda para la retención de nutrientes en el compostaje.

El contenido de azufre en el BZC se situó en 0,06% en la muestra 1, mientras que en la muestra 2 fue <0,03%. Estos valores podrían asociarse a la temperatura de pirólisis (600°C a 630°C), ya que a mayores temperaturas el azufre tiende a volatilizarse en forma de compuestos gaseosos. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Zhao et al. (2018), quienes indican que los contenidos de S, H, O y N se reducen significativamente con el incremento de la temperatura de pirólisis.

En cuanto al pH, el biocarbón presentó valores de 8,8 y 8,6 para las muestras 1 y 2, respectivamente, lo que indica que es alcalino. Según Tomczyk et al. (2020), argumentan que los valores alcalinos de pH del biocarbón (en un rango de 6,5 a 10,8) se asocian con la formación de carbonatos y con la separación de sales alcalinas a partir de los materiales orgánicos como consecuencia del incremento de la temperatura de pirólisis, ya que a temperaturas por encima de 300 °C, estas sales comienzan a separarse de la matriz orgánica, lo que contribuye al incremento del pH, el cual tiende a estabilizarse alrededor de los 600 °C, cuando la mayoría de las sales alcalinas han sido liberadas de la estructura pirolítica. Por lo cual, el BZC presenta un pH alcalino que puede contribuir a neutralizar la acidez generada durante la fase inicial del compostaje con pulpa de café.

El contenido de cenizas fue de 5,2 % en la muestra 1 y de 2,0 % en la muestra 2. Estos bajos valores pueden atribuirse a la naturaleza lignocelulósica de la biomasa de zoca de café utilizada en la producción de biocarbón, lo cual resulta favorable para su aplicación en la agricultura.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Tomczyk et al. (2020), quienes indican que los biocarbones derivados de madera presentan contenidos de cenizas inferiores al 7,0%, en contraste con los obtenidos a partir de otras materias primas, que pueden superar el 50,0%; un bajo contenido de

cenizas hace que el biocarbón sea más adecuado para su transporte y su incorporación en los suelos, debido a la menor pérdida por acción del viento.

El BZC presentó una capacidad de retención de agua (WHC) de 154,4 % para la muestra 1 y 147,3 % para la muestra 2, lo que indica un nivel aceptable de retención de agua. Según Adhikari et al. (2023), los biocarbones con WHC de aproximadamente 78% son extremadamente repelentes al agua, mientras que aquellos con WHC máxima (400%) no presentan hidrofobicidad; además, los biocarbones con mayor WHC se obtienen a partir de biomasa leñosa y de materias primas mixtas, pirolizados a altas temperaturas (700 °C), característica que se relaciona con un área superficial elevada y una morfología angular y rugosa.

A partir de lo anterior, se puede inferir que el BZC posee una WHC intermedia, probablemente asociada a su área superficial (307,31 m²/g), origen lignocelulósico, morfología irregular y condiciones de pirólisis. Estas propiedades podrían favorecer la retención de humedad, la aireación, la actividad microbiana, al mismo tiempo evita la compactación durante el proceso de compostaje.

10.2. Compostaje de pulpa de café con biocarbón de zoca: análisis de temperatura y volumen final.

A continuación, se presentan y analizan de manera integrada los resultados obtenidos durante el proceso de compostaje de pulpa de café con adición de biocarbón de zoca de café, estructurándose en función de la temperatura y las propiedades fisicoquímicas del compost. Finalmente, dichos resultados se comparan con los valores de referencia establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5167.

10.2.1. Interpretación del comportamiento térmico del proceso.

La temperatura es una de las variables más sensibles y representativas de la dinámica microbiana durante el compostaje. Su seguimiento permite identificar las diferentes fases del proceso (mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración) y evaluar la eficacia de la mezcla de residuos utilizada; pulpa de café y biocarbón en diferentes proporciones. En este estudio, se realizó el monitoreo diario del comportamiento térmico en tres puntos en cada una de las 7 unidades experimentales.

Tabla 5.

Análisis del comportamiento térmico por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación</i>	<i>Coeficiente</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
		<i>Estándar</i>	<i>de Variación</i>			

Control	48,7562	3,51984	7,21926%	45,0	57,3	12,3
T1	54,3964	5,9607	10,9579%	45,0	66,3	21,3
T2	55,4548	7,70207	13,8889%	45,0	66,3	21,3
Total	53,6307	6,80276	12,6845%	45,0	66,3	21,3

Nota. La tabla 5 relaciona el comportamiento de la temperatura en los dos tratamientos de compostaje y la pila control en la fase termofílica.

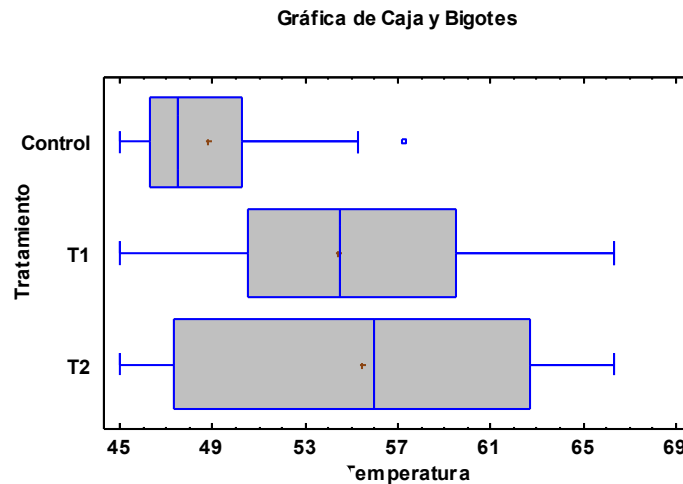
El comportamiento térmico del proceso de compostaje durante la fase termofílica evidenció diferencias entre los tratamientos evaluados (T1, T2 y control), tanto en términos de intensidad como de variabilidad de la temperatura.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 5, el tratamiento T2 (80/20) registró la mayor temperatura promedio (55,45 °C), seguido por el tratamiento T1 (70/30) (54,40 °C), mientras que el control presentó el menor valor (48,76 °C).

En cuanto a la variabilidad, el tratamiento T2 mostró la mayor desviación estándar (7,70) y coeficiente de variación (13,88%), lo que indica una mayor fluctuación térmica. Por el contrario, el control presentó menor variabilidad (CV = 7,21%), evidenciando un comportamiento más estable, pero con menor intensidad térmica. El rango de temperatura fue mayor en los tratamientos con biocarbón (21,3 °C) en comparación con el control (12,3 °C).

Figura 7.

Comportamiento térmico por tratamiento.



Nota. El diagrama de caja y bigotes relaciona el comportamiento de la temperatura en los dos tratamientos de compostaje y la pila control en la fase termofílica.

La Figura 7 evidencia la distribución de la temperatura durante la fase termofílica, donde se observa que los tratamientos T1 y T2 presentan medianas superiores al control, así como una mayor amplitud en los rangos intercuartílicos. En particular, T2 muestra la mayor dispersión térmica, lo que indica una mayor dinámica del proceso. El control, por su parte, presenta una distribución más estrecha, reflejando menor variabilidad e intensidad térmica, lo que indica una menor intensidad del proceso biológico en ausencia de biocarbón. Este comportamiento respalda la hipótesis de que la incorporación de biocarbón favorece la intensificación térmica del compostaje (Abban-Baidoo et al., 2024).

El mayor coeficiente de variación observado en el tratamiento T2 podría estar asociado a la presencia de picos térmicos más pronunciados o a una mayor heterogeneidad en la mezcla, lo cual es característico de sistemas biológicos activos con elevada dinámica microbiana.

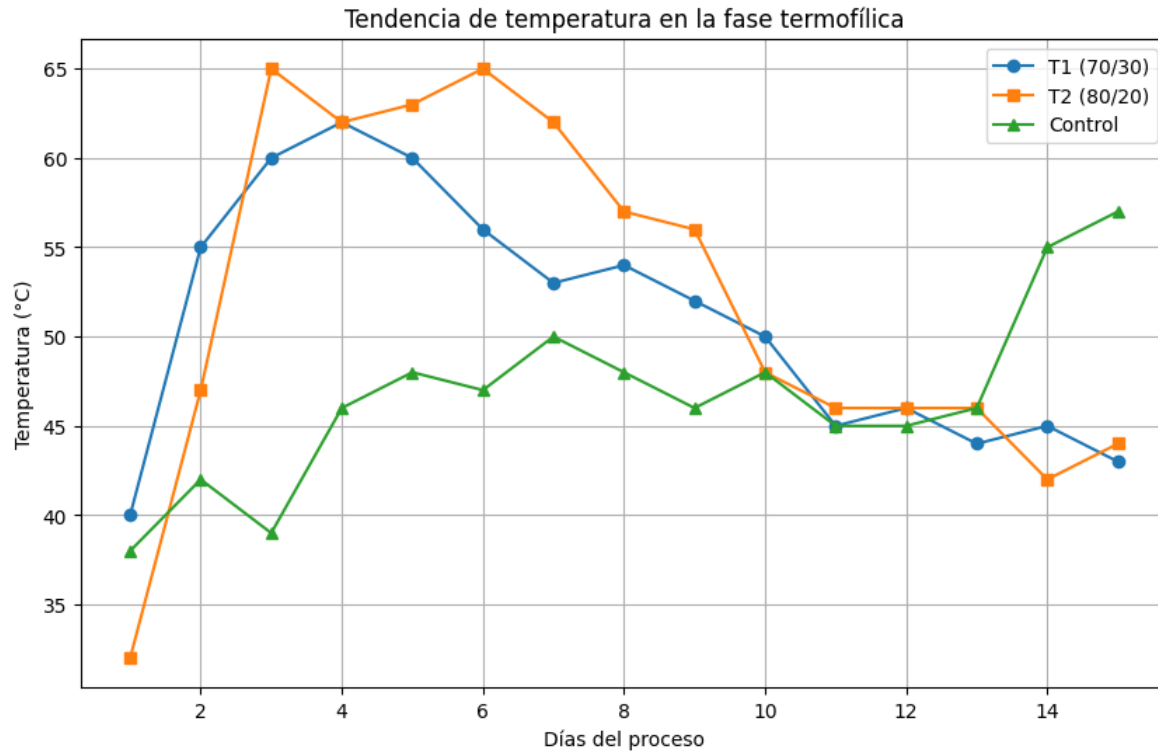
Desde una perspectiva interpretativa, estos resultados sugieren que el biocarbón aplicado en dosis moderadas (20 %) optimiza las condiciones de aireación y regulación de la humedad, sin generar una adsorción excesiva de agua o nutrientes que limite la actividad microbiana. En contraste, una proporción más elevada de biocarbón (30% en T1) podría haber reducido parcialmente la actividad biológica. De acuerdo con los estudios realizados por Li et al. (2026), este comportamiento puede asociarse a la formación de microzonas anaeróbicas como consecuencia de la alta capacidad del biocarbón para retener agua, lo que restringe la difusión de oxígeno y disminuye la temperatura del compost; asimismo, los cambios en la composición microbiológica entre los tratamientos con biocarbón se atribuyen a diferencias en la estructura de poros y área superficial, por lo cual dosis excesivas puede afectar negativamente la fase termofílica y la calidad final del compost.

Los resultados evidencian que la adición de biocarbón favorece el incremento de la temperatura y la dinámica del proceso de compostaje durante la fase termofílica. El tratamiento T2 presentó el mejor desempeño térmico, caracterizado por mayores temperaturas promedio, mayor variabilidad y una fase termofílica más prolongada. El tratamiento T1 mostró un comportamiento intermedio, mientras que el control presentó las menores temperaturas y menor eficiencia térmica.

Este comportamiento térmico probablemente está asociado a una mayor actividad microbiana en los tratamientos con biocarbón, lo que favorece la degradación de la materia orgánica y la generación de calor durante la fase termofílica.

Figura 8.

Comportamiento de la temperatura por tratamiento en la fase termofílica.



Nota. La figura 8 presenta la evolución térmica en la fase termofílica por tratamiento.

En la evolución de la temperatura en función de los días del proceso durante la fase termofílica para los tratamientos T1 (70/30), T2 (80/20) y el control, se observa que el tratamiento T2 alcanzó mayores temperaturas y un incremento más rápido, seguido por T1, mientras que el control presentó menores valores térmicos.

Durante los primeros días (días 1–3), todos los tratamientos presentaron un incremento progresivo de la temperatura, siendo más pronunciado en los tratamientos con biocarbón. El tratamiento T2 alcanzó rápidamente temperaturas superiores a 60 °C, seguido por T1, mientras que el control mostró un incremento más gradual.

Entre los días 3 y 6 se registró el pico térmico, donde el tratamiento T2 alcanzó valores cercanos a 66 °C, evidenciando la mayor actividad microbiana. El tratamiento T1 presentó un comportamiento similar,

aunque con temperaturas ligeramente inferiores, mientras que el control no alcanzó valores máximos comparables.

Posteriormente, a partir del día 7, se observó un descenso progresivo de la temperatura en todos los tratamientos, esta etapa corresponde a la transición hacia la fase mesofílica, en la cual la actividad microbiológica disminuye gradualmente a medida que se agotan los compuestos orgánicos más fácilmente degradables. No obstante, T2 mantuvo temperaturas elevadas durante un periodo más prolongado en comparación con T1 y el control, lo que indica una mayor duración de la fase termofílica, que podría estar relacionada con una mayor retención térmica favorecida por su concentración de pulpa de café. En contraste, el tratamiento control mostró un enfriamiento más rápido, alcanzando temperaturas cercanas a las ambientales antes que los tratamientos con biocarbón.

Los valores alcanzados por los tratamientos T1 y T2 superan el umbral de 55 °C, considerado adecuado para la higienización del compost, lo que confirma la eficiencia del proceso en estos tratamientos.

En conjunto, los resultados evidencian que la adición de biocarbón mejora la eficiencia térmica del compostaje, siendo la concentración del 20 % la que mostró el comportamiento más favorable, en coherencia con los objetivos del estudio.

10.2.2. Análisis estadístico de la temperatura.

Para evaluar si existieron diferencias estadísticamente significativas en la temperatura entre tratamientos y entre pilas, se realizó un análisis de varianza bifactorial con tres réplicas por tratamiento. Los factores evaluados fueron el tipo de tratamiento (T1, T2 y control) y la pila correspondiente (1, 2 o 3 en cada tratamiento).

Tabla 6

ANOVA para Temperatura por Tratamiento.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	499,734	2	249,867	6,15	0,0034
Intra grupos	2924,81	72	40,6223		
Total (Corr.)	3424,54	74			

Nota. La tabla 6 corresponde al análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura por tratamientos.

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F = 6,15$; $p = 0,0034$), lo que indica que el tipo de tratamiento influyó de manera significativa en el comportamiento térmico durante la fase termofílica. De igual forma, se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$) para las variables evaluadas. La prueba de Tukey permitió identificar que el tratamiento T1 y T2 difiere estadísticamente del control.

Tabla 7

Pruebas de Tukey para temperatura por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	16	48,7562	X
T1	28	54,3964	X
T2	31	55,4548	X

Nota. Método: 95,0 porcentaje LSD.

Tabla 8.

Contraste de diferencia significativa para temperatura por tratamiento.

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Control - T1	*	-5,64018	3,98179

Control - T2	*	-6,69859	3,91111
T1 - T2		-1,05841	3,31251

Nota. * indica una diferencia significativa.

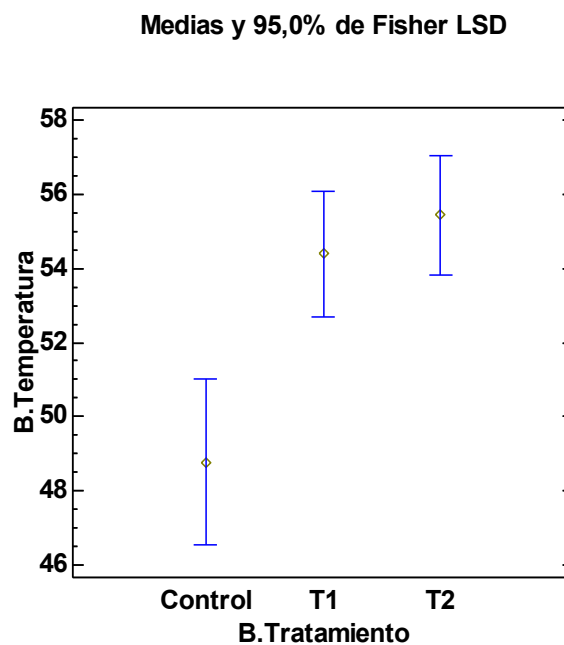
La prueba de Tukey evidenció diferencias significativas entre el control y los tratamientos con biocarbón (T1 y T2). Específicamente:

- Control vs T1 → diferencia significativa
- Control vs T2 → diferencia significativa
- T1 vs T2 → no significativa

Estos resultados indican que ambos tratamientos con biocarbón mejoraron significativamente la temperatura del proceso en comparación con el control, aunque no se detectaron diferencias estadísticas entre T1 y T2, a pesar de que T2 presentó valores numéricamente superiores.

Figura 9.

Comparación de la temperatura promedio por tratamiento.



Nota. La figura 9 compara las temperaturas promedio por tratamiento y el control en la fase termófila.

En la gráfica se presentan las medias de temperatura en la fase termofílica correspondientes a los tratamientos evaluados (Control, T1 y T2), acompañadas de sus respectivos intervalos de confianza al 95% según el método de Fisher (LSD). Los resultados evidencian que el tratamiento Control registra la temperatura más baja (48,75°C), lo que coincide con la observación empírica de menor actividad biológica para la descomposición de la materia orgánica, mientras que T1 y T2 muestran valores superiores 54,39°C y 55,45°C, respectivamente, lo que indica un incremento de la temperatura a partir de la adición de biocarbón, donde T2 sugiere una mejor eficiencia térmica posiblemente asociada a una concentración moderada. Asimismo, la separación de los intervalos de confianza entre el Control y los demás tratamientos sugiere la existencia de diferencias estadísticamente significativas. En contraste, la superposición parcial de los intervalos entre T1 y T2 indica que no se puede afirmar con certeza una diferencia significativa entre estos dos tratamientos. En conjunto, los datos permiten concluir que los tratamientos aplicados influyen en el aumento de la temperatura respecto al control.

Tabla 9.

Promedio de temperatura por pila y tratamiento.

Promedio de temperatura por pila y tratamiento				
	Tratamiento			
Pila	Control	T1	T2	Promedio Total
Pila 1	35,35	35,84	37,22	36,13
Pila 2		34,64	35,62	35,13
Pila 3		35,01	34,83	34,92
Promedio Total	35,35	35,17	35,89	35,50

Nota. Promedios de temperatura por pila y tratamiento durante el compostaje.

Los promedios de temperatura registrados en los tres tratamientos oscilaron entre 34,92 °C y 37,22 °C, valores que corresponden principalmente al rango mesófilo del proceso de compostaje. No

obstante, estos promedios integran periodos previos en los que las pilas tratadas con biocarbón alcanzaron temperaturas propias de la fase termófila (>55 °C), fundamentales para la sanitización del material y la degradación acelerada de la materia orgánica.

El Tratamiento 2 (80 % pulpa de café + 20 % biocarbón) presentó la temperatura promedio más alta (35,89 °C), lo que sugiere una mayor estabilidad térmica durante la fase mesófila, considerada favorable para la continuación de los procesos microbianos y la maduración del compost. En contraste, el tratamiento control mostró temperaturas ligeramente inferiores y una menor intensidad térmica general, lo que indica condiciones menos eficientes para el proceso de compostaje.

En conjunto, aunque los valores promedio se sitúan en el rango mesófilo, los tratamientos con biocarbón especialmente T2, promovieron condiciones térmicas más favorables para un compostaje eficiente, al combinar una fase termófila efectiva con una fase mesófila más estable.

10.2.3. Volumen inicial, volumen final y reducción volumétrica del compost por tratamiento y pila.

Tabla 10.

Volumen inicial, volumen final y reducción volumétrica del compost por tratamiento y pila.

Tratamiento	Pila	Volumen inicial (L)	Volumen final (L)	Reducción volumétrica (%)
T1 (30 % biocarbón)	Pila 1	1000	465,3	53,5
T1 (30 % biocarbón)	Pila 2	1000	454,3	54,6
T1 (30 % biocarbón)	Pila 3	1000	413,6	58,6
T2 (20 % biocarbón)	Pila 1	1000	490,0	51,0
T2 (20 % biocarbón)	Pila 2	1000	418,0	58,2
T2 (20 % biocarbón)	Pila 3	1000	341,0	65,9
Control (sin biocarbón)	Única	1000	242,0	75,8

Nota. La tabla 10 presenta un volumen inicial, volumen final y reducción volumétrica del compost por tratamiento y pila.

Tabla 11.

Promedios de volumen final de compost por tratamiento.

Tratamiento	Volumen final promedio (L)	Reducción volumétrica promedio (%)
T1 (30 % biocarbón)	444,4	55,6
T2 (20 % biocarbón)	416,3	58,4
Control (sin biocarbón)	242,0	75,8

Nota. Presenta los promedios de volúmenes finales de compost por tratamiento.

El análisis de la variación volumétrica del compost evidencia diferencias claras entre los tratamientos con biocarbón y el tratamiento control. En promedio, el Tratamiento 1 (30 % de biocarbón) presentó un volumen final de 444,4 L, con una reducción volumétrica del 55,6 %, mientras que el Tratamiento 2 (20 % de biocarbón) alcanzó un volumen final promedio de 416,3 L y una reducción del 58,4 %. En contraste, el tratamiento control mostró el menor volumen final (242,0 L) y la mayor reducción volumétrica (75,8 %), lo que indica una pérdida más intensa de masa y estructura del material. La menor reducción volumétrica observada en los tratamientos con biocarbón sugiere que esta enmienda contribuye a una mayor estabilidad estructural del compost, favoreciendo la retención de humedad y reduciendo la compactación y deshidratación prematura del material. Por el contrario, la elevada reducción volumétrica observada en el tratamiento control concuerda con los estudios realizados por Cenicafé, los cuales reportan un rendimiento del 16,6% en base seca para la pulpa de café compostada sin la adición de otros materiales (Rodríguez, 2023).

Desde una perspectiva comparativa, el Tratamiento 1 presentó el mayor volumen final de compost, seguido del Tratamiento 2, que mostró una reducción ligeramente menor, mientras que el tratamiento control registró el valor más bajo. Estos resultados sugieren que la concentración de biocarbón influye en el equilibrio entre la estabilidad estructural y la eficiencia del compostaje, siendo la

dosis del 20 % la que proporciona el balance más adecuado entre la reducción del residuo y la culminación del proceso entre los tratamientos con biocarbón.

Uno de los objetivos de este trabajo fue elaborar compost a partir de pulpa de café mediante la incorporación de biocarbón de zoca de café en concentraciones del 20 % y 30 %, con el fin de evaluar su efecto sobre el desarrollo y la estabilidad del proceso de compostaje. Los resultados obtenidos demuestran que dicho objetivo fue cumplido satisfactoriamente, ya que la adición de biocarbón permitió la obtención de un compost estable. Por su parte, el tratamiento control presentó las características típicas de un compost de pulpa de café al 100% de acuerdo con estudios realizados por Cenicafé(Rodríguez, 2023).

La comparación entre las concentraciones evaluadas evidencia que ambas dosis de biocarbón favorecieron la eficiencia térmica del compostaje de la pulpa de café. No obstante, la concentración del 20% mostró un mejor balance entre eficiencia del proceso y estabilidad del material, reflejado en una adecuada reducción volumétrica y en un comportamiento térmico más favorable. Por otro lado, la concentración del 30 % contribuyó a una mayor conservación del volumen final del compost, asociada a un efecto estructurante más marcado.

En consecuencia, se concluye que la incorporación de biocarbón de zoca de café en proporciones del 20 % y 30 % constituye una estrategia técnicamente viable para el aprovechamiento de la pulpa de café, siendo la dosis del 20 % la que presenta mejores condiciones para optimizar el proceso de compostaje y reducir el potencial contaminante de este residuo, en coherencia con el objetivo propuesto en la investigación.

10.3. Análisis propiedades fisicoquímicas.

Tabla 12.

Características fisicoquímicas del compost por tratamiento en contraste con la NTC 5167 de 2022.

Parámetro	Unidades	T1 P1 30%	T1 P2 30%	T1 P3 30%	T2 P1 20%	T2 P2 20%	T2 P3 20%	Control	NTC 5167 de 2022(Incontec, 2022).
Humedad	%	54.2	48.8	38.3	43.5	44.8	53.0	38.8	< 30 %
Cenizas	%	6.50	8.23	8.76	10.1	9.84	7.90	12.1	< 60%
CIC	meq/100g	23.3	28.6	23.3	38.7	44.4	33.4	61.9	>30 (meq/100g)
Densidad Real (en g/cm ³ base seca)		0.426	0.447	0.437	0.443	0.471	0.429	0.638	< 0,6 g/cm ³
COOx	%	11.6	13.0	14.5	14.2	14.6	11.3	16.1	> 15 %
C/N	Adimension al	14	13	12	9.7	11	9.9	7.6	< 25
NT	%	0.834	0.988	1.25	1.47	1.37	1.14	2.12	≥ 1 %
N Orgánico	%	0.834	0.988	1.25	1.47	1.37	1.14	2.12	
P ₂ O ₅	%	0.302	0.520	0.394	0.603	0.559	0.478	0.670	≥ 1 %
K ₂ O	%	1.52	1.78	2.27	2.93	2.48	1.93	2.66	≥ 1 %
CaO	%	1.24	1.35	1.29	1.53	1.53	1.12	1.07	
MgO	%	0.232	0.288	0.263	0.253	0.294	0.223	0.257	
pH	Unidades	8.45	8.59	8.70	8.74	8.75	8.77	8.79	4 < pH < 9

Nota. La tabla 12 presenta los análisis de las características fisicoquímicas del compost por tratamiento en contraste con la NTC 5167 de 2022.

Tabla 13.

Resultados de un ANOVA de un factor para cada parámetro.

Parámetro	Valor p (ANOVA)	Decisión
Humedad	0,607	No hay diferencia significativa en la humedad entre tratamientos.
Cenizas	0,02	Diferencias significativas. El contenido de cenizas aumenta en el orden $T1 < T2 < \text{Control}$.
CIC	0,01	El tratamiento con mayor proporción de biocarbón tiene menor CIC. El control supera el estándar (>30).
Densidad real	0,01	Diferencias significativas. Solo el control tiene mayor densidad y excede el estándar ($<0.6 \text{ g/cm}^3$).
COOx	0,18	No hay diferencias significativas, aunque el control presenta el valor más alto y cumple el estándar ($>15\%$).
C/N	0,03	Hay diferencia significativa. La relación C/N disminuye con menor contenido de biocarbón.
NT / N Orgánico	0,01	El mínimo en T2 es 1,14 y está por encima del 1%. Sólo T2 y el control cumplen con el estándar ($\geq 1\%$). El contenido de Nitrógeno total aumenta significativamente en el control.
P ₂ O ₅	0,02	Hay diferencias significativas. Ningún tratamiento cumple el estándar ($\geq 1\%$).
K ₂ O	0,04	Diferencias significativas. Todos cumplen con el estándar ($\geq 1\%$).
CaO	0,12	No hay diferencias significativas.
MgO	0,97	No hay diferencias significativas.



pH	0,09	Diferencias no significativas, aunque el pH tiende a subir con menor biocarbón.
----	------	---

Nota. La tabla 13 presenta el análisis estadístico de las características fisicoquímicas del compost para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos.

10.3.1. Comparación de resultados por tratamiento.

Humedad: Ninguno de los tratamientos evaluados cumple con el límite máximo de humedad (<30 %) establecido por la norma NTC 5167 de 2022. Los valores obtenidos oscilaron entre 38,3 % y 54,2 %. Los tratamientos que presentaron resultados más cercanos al límite permisible fueron T1P3, con 38,3 %, y el control, con 38,8 %, lo que indica un contenido de agua superior al recomendado. Esto podría afectar la estabilidad del compost y aumentar el riesgo de fermentaciones indeseadas si no se maneja adecuadamente. Por su parte J. Aguirre et al. (2024), afirman que la humedad puede incidir negativamente en la acción de nutrientes como N, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn; por tanto, controlar la humedad determina la calidad final del compost.

Cenizas: Todos los tratamientos presentaron valores de cenizas significativamente por debajo del límite máximo permitido por la norma (< 60%), con un rango entre 6,50% y 12,1%. De acuerdo con los estudios sobre compostaje de residuos sólidos urbanos realizados por Velásquez (2023), infiere que un bajo contenido de cenizas puede deberse a un alto contenido de humedad.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): El tratamiento 2 alcanzó valores por encima del umbral ideal (>30 meq/100 g) establecido por la norma NTC 5167 de 2022, con un rango entre 33,4 y 44,4 meq/100 g. Los tratamientos más cercanos al rango ideal son T2P3, con 33,4 meq/100 g, y T2P1, con 38,7 meq/100 g, lo que refleja un buen potencial de retención de nutrientes. Por tanto, se considera que una adecuada C.I.C. en un compost garantiza la retención de cationes, evita pérdidas por lixiviación y mantiene la humedad en el suelo (Castro & Daza, 2016).

A partir de lo anterior, se puede inferir que la CIC pudo verse afectada por las concentraciones de biocarbón en T1, a mayor concentración de biocarbón menor CIC en los tratamientos (Flores-Solórzano et al., 2021) .

Densidad Real: Todos los tratamientos mostraron valores inferiores al límite de $0,6 \text{ g/cm}^3$, lo que indica una estructura porosa favorable para adsorción. En concordancia con los resultados de densidad real obtenidos para compost de residuos sólidos urbanos por Velásquez (2023), se puede inferir que el comportamiento de la densidad real estaría asociada a la porosidad de la materia prima del compost, lo que ocasiona que la densidad real disminuya.

Carbono orgánico oxidable (COOx): Ninguno de los tratamientos alcanzó el mínimo deseado ($>15\%$). Sin embargo, T1 P3, T2 P1 y T2 P2 superaron el 14%, lo que podría indicar un contenido considerable de carbono estable. Estos valores pueden estar asociados con una baja relación C/N, lo que hace que el carbono orgánico se transforme y se libere a la atmosfera en forma de CO_2 por medio de la acción microbiana (Castro et al., 2016). Por su parte, la pila control superó el mínimo establecido por la norma.

En cuanto a la *relación C/N*, la norma NTC 5167 establece un límite máximo de 25 para este parámetro. En los tratamientos evaluados, los niveles de C/N oscilaron entre 7,6 y 14, siendo el menor registrado en la pila control, lo que indica que se encuentran por debajo del rango ideal recomendado por el ICA (20/1)(ICA, 2015). Los valores obtenidos en T1 y T2 pueden relacionarse con las concentraciones de materiales orgánicos utilizados, en este caso pulpa de café y biocarbón, así como con la ralentización de la actividad de las bacterias nitrificantes a altas temperaturas, lo que incrementa la volatilización de amoníaco y, por ende, eleva la C/N final (El-mrini et al., 2022). Asimismo, es importante destacar que la aplicación de productos con baja relación C/N favorece los procesos de mineralización en el suelo (Castro et al., 2016).

En contraste con estos resultados, Dadi et al. (2019) señalan que la cáscara de café genera relaciones C/N más altas cuando se composta sola, en comparación con su compostaje junto con otros materiales orgánicos; no obstante, relaciones C/N en intervalos de 14,29 a 22,28 se consideran adecuados para su uso en fines agrícolas. Por otro lado, Rodríguez (2023) en su ensayo de compost con solo pulpa de café, obtuvo una relación C/N de 7,47, lo que coincide con los datos del producto final del presente experimento y sugiere un comportamiento acorde con estudios realizados previamente.

Por otra parte, Sullivan et al. (2018) mencionan que compost con relación C/N > 20 pueden requerir enriquecimiento adicional con fuentes nitrogenadas, mientras que aquellos con C/N entre 10 y 20 aportan fracción equivalente al 5% del N total, y compost con C/N < 10 liberan entre 10% y 20% del N total durante la primera temporada de cultivo después de la aplicación. En este sentido, T1 y T2 presentan una fracción de NT que puede estar disponible para las plantas al momento de realizar su aplicación, por su parte el control presentó un mayor potencial.

Nitrógeno total: Las réplicas T1P3, T2P1, T2P2 y T2P3 superaron el 1% de nitrógeno recomendado por la norma NTC 5167 (2022), lo que indica que el tratamiento 2 presentó un contenido óptimo de este nutriente, con concentraciones que oscilaron entre 1,14% y 1,47%. Entre estos, T2P3 registró el valor más cercano al intervalo ideal, con 1,14%. Por otro lado, la pila control superó ampliamente a los tratamientos alcanzando un 2,12%, comportamiento típico de compostajes con sólo pulpa de café (Rodríguez, 2023).

De acuerdo con J. Aguirre et al. (2024), en un estudio sobre compost a partir residuos orgánicos domiciliarios, se reportaron concentraciones de nitrógeno superiores al 1%, en cumplimiento con lo establecido por la NTC 5167 para abonos orgánicos y enmiendas, lo cual sugiere un potencial adecuado del compost como enmienda orgánica al aportar nutrientes al suelo. Esto coincide con lo señalado por Sullivan et al. (2018), quienes indican que cuando el contenido total de N del compost se sitúa entre el 1% y 2%, su impacto sobre la demanda de fertilización nitrogenada en los cultivos es mínimo, y si el NT



supera el 2%, el compost puede sustituir parcialmente al fertilizante nitrogenado convencional. Además, Dadi et al. (2019) afirman que las muestras de compost maduro con un contenido de nitrógeno total superior al 1%, pueden tener capacidad fertilizante y utilizarse en agricultura sin necesidad de aplicar N adicional. Por lo tanto, se considera que tanto T2 como el control pueden proporcionar una fuente de nitrógeno aceptable para el uso agrícola.

Contenido de CaO y MgO: Aunque la norma NTC 5167 no establece valores de referencia para óxidos de calcio (CaO) y magnesio (MgO), estos elementos son importantes en la fertilidad del suelo por su papel como macronutrientes secundarios. Los tratamientos evaluados presentaron concentraciones de CaO entre 1,24% y 1,53%, valores considerados moderados para compost (Bailón & Florida, 2021). Estos niveles de CaO favorecen la alcalinidad del pH (Bustinza & Gomero, 2023) y es un componente estructural de las células vegetales que se relacionan con el crecimiento de la raíz (Ríos & Florida, 2023). Por su parte, los contenidos de MgO oscilan entre 0,223% y 0,294%, inferiores a lo recomendado en compost (Bailón & Florida, 2021).

En cuanto a la concentración de elementos mayores como el fósforo (P_2O_5), ningún tratamiento alcanzó el mínimo del 1 % exigido por la norma, lo que limita su uso como fuente primaria de este nutriente. Esto se debe posiblemente a los bajos contenidos de P de en la zoca y pulpa café de acuerdo con los estudios realizados por Cenicafé (Rodríguez, 2023). En contraste, Ríos & Florida (2023) señalan que los compost con elevados contenidos de humedad y pH, así como bajas concentraciones de P, Ca y Mg, pueden emplearse como enmiendas para la mejora del suelo y los cultivos, aunque con ciertas restricciones en su aplicación. Por otra parte, Yadesa Hirpa (2020) indicó que algunos estudios de compost elaborados a partir de subproductos del café presentaron valores de fósforo total entre 0,25 % y 1,02 %, lo que sugiere un comportamiento dentro de los rangos esperados.

Por su parte, el potasio (K_2O) superó el umbral del 1% en todos los tratamientos, con valores que oscilaron entre 1,52% y 2,93%, lo que indica una alta disponibilidad de este elemento, ya que el

contenido de K_2O en compost elaborado a partir de subproductos del café oscila entre 0,25% y 1,48% (Yadesa Hirpa, 2020). Por lo tanto, los altos contenidos de K_2O del presente estudio puede estar relacionado con la biomasa empleada (pulpa de café). Además, la alta tasa de descomposición de los materiales compostados favorece la liberación de K_2O , a partir de la pérdida de carbono durante la mineralización de la materia orgánica a lo largo del proceso de compostaje (Yadesa Hirpa, 2020).

pH: Todos los tratamientos se mantuvieron cerca al límite máximo permitido por la norma ($4 < pH < 9$), con valores entre 8,45 y 8,79, lo que indica un pH ligeramente alcalino del compost, favorable para su aplicación en suelos ácidos.

Los altos niveles de pH pueden ser causados por la alcalinidad natural de la pulpa de café durante el proceso de compostaje, esto pudo deberse a la elevada actividad microbiana que genera la degradación de la materia orgánica, al formar amoníaco que al solubilizarse produce amonio y eleva el pH (Bustanza & Gomero, 2023). Asimismo, la producción y acumulación de amoníaco, beneficia la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana en el suelo (Sebahire et al., 2024). Los valores de pH obtenidos reflejan un estado avanzado de madurez y estabilidad del compost, lo cual ha sido asociado con relaciones C/N bajas al final del proceso (El-mrini et al., 2022).

10.3.2. Análisis por tratamiento.

El T1 (70% pulpa de café y 30% biocarbón) presentó una humedad superior a la establecida por la NTC 5167. La CIC fue inferior al valor mínimo recomendado (30 meq/100 g), el carbono orgánico oxidable se mantuvo por debajo del 15%, y tanto el nitrógeno como el fósforo (P_2O_5) no alcanzaron el 1%. Por tanto, estos parámetros no cumplen con los rangos definidos por la norma. Sin embargo, el tratamiento sí cumplió con los estándares establecidos para K_2O , densidad real y pH.

El T2 (80% pulpa de café y 20% biocarbón) también presentó humedad superior al valor permitido. No obstante, mostró mejores resultados en CIC, pH, K_2O y nitrógeno, que se mantuvieron



dentro de los parámetros definidos por la norma. El carbono orgánico oxidable y el P_2O_5 , en cambio, no alcanzaron los valores mínimos requeridos.

El Control (100% pulpa de café) presentó un contenido de humedad superior al límite establecido por la norma, un valor de P_2O_5 inferior al 1% y una densidad real ligeramente por encima del límite establecido. Sin embargo, mostró una CIC notablemente superior a la de los tratamientos con biocarbón, así como un contenido adecuado de carbono orgánico oxidable, mayores concentraciones de nitrógeno y K_2O , parámetros que cumplen con lo establecido en la NTC 5167 (2022).

En conjunto, se considera que el control presentó mejores resultados, seguido de T2 en los análisis fisicoquímicos en contraste con la NTC 5167 (2022). A partir de estos resultados, se sugiere que la incorporación de biocarbón pudo haber modificado la dinámica de retención e intercambio de nutrientes. Por lo cual, se plantea que dosis de biocarbón menores a las utilizadas en el presente estudio pueden proporcionar mejores resultados respecto a la calidad del compost.

No obstante, la incorporación de biocarbón de zoca al compostaje de pulpa de café puede aportar beneficios adicionales, como la reducción de lixiviados y olores desagradables, además de constituir una alternativa para el aprovechamiento de residuos agrícolas asociados a la caficultura, lo cual podría contribuir a la reducción de cargas contaminantes generadas durante el beneficio húmedo del café en el área de influencia de la cuenca del río Guarapas.

11. CONCLUSIONES.

Se realizó el análisis de contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa de BZC, el cual presenta un alto contenido de lignina y celulosa debido a su origen leñoso, por lo que se evidencia la degradación temprana de la hemicelulosa. De esta manera, la resistencia de la lignina permite obtener un biocarbón con características estructurales más estables y recalcitrante, lo que le confiere un alto potencial para su uso en procesos de compostaje de pulpa de café, contribuyendo a mejorar la calidad y sostenibilidad del



producto final. A su vez, reporta una área superficial y porosidad alta, lo cual favorece la retención de agua, nutrientes y el desarrollo microbiano durante el compostaje.

Se elaboró compost de pulpa de café con la adición de biocarbón a través de un diseño experimental de un factor con tres niveles, con el establecimiento de siete (7) unidades experimentales, para las cuales se realizó el análisis del comportamiento térmico, evidenciándose que T2 (20%) alcanzó los picos más altos de temperatura con una fase termófila más prolongada y un rendimiento volumétrico superior a T1 (30%) y al tratamiento control sin adición de biocarbón.

En términos generales, T2 (20%) mostró un mejor desempeño que T1 (30%), frente a los estándares de la norma técnica colombiana NTC 5167, evidenciado mayores valores de CIC, pH, nutrientes esenciales como nitrógeno total y potasio (K_2O) y una menor relación C/N, lo que indica una mayor estabilidad del compost. Aunque T1 y T2 no cumplieron con el valor mínimo de fósforo (P_2O_5) ni el límite de humedad, T2 sobresalió como la alternativa más equilibrada para la obtención del producto final. Esto sugiere que una menor proporción de biocarbón en la mezcla favorece la calidad del compost.

En contraste, la pila control sin adición de biocarbón presentó un mejor desempeño en comparación con T1 (30 %) y T2 (20 %), de acuerdo con los estándares establecidos en la norma técnica colombiana NTC 5167. No obstante, se observó que la incorporación de biocarbón, en diferentes proporciones, contribuye a disminuir la lixiviación de los materiales y a reducir la generación de olores desagradables. Asimismo, el uso de menores concentraciones de biocarbón podría favorecer las características fisicoquímicas del producto final.

Ninguno de los tratamientos cumple con el límite máximo de humedad, ya que todos los tratamientos presentaron valores superiores a lo establecido por la NTC 5167. Este comportamiento podría atribuirse al efecto de la hidratación de las pilas de compostaje. En este sentido, se recomienda evitar esta práctica, dado que puede alterar este parámetro y, en consecuencia, afectar la calidad del compost.



Desde una perspectiva ambiental, estos hallazgos adquieren especial relevancia para el saneamiento de la cuenca, ya que evidencian que la incorporación de biocarbón facilita la transformación de grandes volúmenes de pulpa de café. En este contexto, su uso en el compostaje de pulpa de café, particularmente en bajas concentraciones, se perfila como una estrategia efectiva para mitigar la contaminación asociada a los residuos del beneficio del café, contribuyendo a la protección de los cuerpos de agua de la cuenca.

12. REFERENCIAS

- Abban-Baidoo, E., Manka'abusi, D., Apuri, L., Marschner, B., & Frimpong, K. A. (2024). Biochar addition influences C and N dynamics during biochar co-composting and the nutrient content of the biochar co-compost. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67884-z>
- Abdelfadeel, I. A., Alotaibi, K. D., Alkoiak, F. N., Aloud, S. S., & Fulleros, R. B. (2025). Effects of biochar addition on gaseous emissions during the thermophilic composting phase and subsequent changes in compost characteristics. *Processes*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/pr13103210>
- Adhikari, S., Mahmud, M. A. P., Nguyen, M. D., & Timms, W. (2023). Evaluating fundamental biochar properties in relation to water holding capacity. *Chemosphere*, 328. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138620>
- Agegnehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119, 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008>
- Aguirre, J., Florida, N., Ríos, E., & Lévano, J. (2024). Production and characterization of compost derived from municipal organic solid wastes. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgacion Cientifica*, 27 (1), 2–9. <https://doi.org/10.31910/RUDCA.V27.N1.2024.2432>



- Aguirre, S., Villa, J., & Piraneque, N. (2023). Biocarbón: Estado del arte, avances y perspectivas en el manejo del suelo. *Revista EIA*, 20(39), 1–13. <https://doi.org/10.24050/reia>
- Agyarko, E., Cowie, A., Van, L., Pal, B., Smillie, R., Harden, S., & Fornasier, F. (2017). Biochar lowers ammonia emission and improves nitrogen retention in poultry litter composting. *Waste Management*, 61, 129–137. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2016.12.009>
- Ahmed, O., Fawzy, S., Farghali, M., El-Azazy, M., Elgarahy, A. M., Fahim, R. A., Maksoud, M. I. A. A., Ajlan, A. A., Yousry, M., Saleem, Y., & Rooney, D. W. (2022). Biochar for agronomy, animal farming, anaerobic digestion, composting, water treatment, soil remediation, construction, energy storage, and carbon sequestration: A review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 20, Number 4, pp. 2385–2485). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01424-x>
- Alghamdi, A. G., Alomran, A., Ibrahim, H. M., Alkhasha, A., & Majrashi, M. A. (2024). Spent coffee waste-derived biochar improves physical properties, water retention, and maize (*Zea mays* L.) growth in sandy soil. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70504-5>
- Amalina, F., Syukor Abd Razak, A., Krishnan, S., Sulaiman, H., Zularisam, A. W., & Nasrullah, M. (2022). Advanced techniques in the production of biochar from lignocellulosic biomass and environmental applications. *Cleaner Materials*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100137>
- Ayaz, M., Muntaha, S. T., Baltrėnaitė, E., & Kriaučiūnienė, Z. (2025). Biochar and carbon-negative technologies: exploring opportunities for climate change mitigation. *Biochar*, 7(17), 2–26. <https://doi.org/10.1007/s42773-024-00421-3>



- Bailón, M., & Florida, N. (2021). Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Miscellaneous (Misceláneos)*, 12 (1)(1), 1–11.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>
- Bohórquez, W. (2019). *El proceso de compostaje* (Universidad de la Salle, Ed.; 1st ed.).
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=X_1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=compostaje&ots=0JmV9XYKYd&sig=8wG2qBBz9Zj7TF7uzZCM5Rjz6s8#v=onepage&q=compostaje&f=false
- Bustinza, R., & Gomero, L. (2023). Optimization of the composting process with coffee pulp in the annex Unión Pucusani (Chanchamayo-Junín). *Idesia*, 41(1), 85–95. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292023000100085>
- Calderón Ortega, P. J., García Parra, Y. M., Martínez Silva, P., Ramírez Losada, V. A., & Carvajal Pinilla, L. A. (2022). Herramientas para sostenibilidad agroambiental del sector cafetero por impactos generados durante el beneficio del café. In Instituto Antioqueño de Investigación (Ed.), *Ciencia Transdisciplinar para la Nueva Era* (En Serna E., pp. 247–255).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8728323>
- Cardona, W., Falcao, J., Bautista, L., Prack, B., González Carlos, Pisco, Y., Scopel, E., Bolaños, M., Arango, M., & Tiftonell, P. (2025). Diversification, age, and organic amendments affect microbial and enzymatic activities in soils of Arabica coffee plantations in the tropical lowlands of Colombia. *Geoderma Regional*, 41, 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2025.e00966>
- Carvajal Flórez, E. (2019). *Modelo de sorción para la remoción de cobre y plomo de lixiviados de rellenos sanitarios. Tesis para optar el título de Doctora en Ingeniería de Recursos Hidráulicos*. Universidad Nacional de Colombia.



- Castro, G., & Daza, C. (2016). Evaluación de enmiendas en el proceso de compostaje de residuos de curtiembres. *Producción + Limpia*, 11 (1)(1), 53–59.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000100006
- Castro, G., Daza, M., & Marmolejo, L. (2016). Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) del Municipio de Versalles, Valle del Cauca. *Gestión y Ambiente*, 19 (19), 179–191.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/53672/56394>
- Dadi, D., Daba, G., Beyene, A., Luis, P., & Van der Bruggen, B. (2019a). Composting and co-composting of coffee husk and pulp with source-separated municipal solid waste: a breakthrough in valorization of coffee waste. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(3), 263–277.
<https://doi.org/10.1007/s40093-019-0256-8>
- De Oliveira Paiva, I., de Moraes, E. G., Jindo, K., & Silva, C. A. (2024). Biochar N content, pools and aromaticity as affected by feedstock and pyrolysis Temperature. *Waste and Biomass Valorization*, 15(6), 3599–3619. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02415-x>
- El-mrini, S., Aboutayeb, R., & Zouhri, A. (2022). Effect of initial C/N ratio and turning frequency on quality of final compost of turkey manure and olive pomace. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(1). <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00092-6>
- Fandiño, G., & Gutierrez, S. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de compostaje como alternativa en la transformación y utilización de los residuos sólidos orgánicos en la Fundación Manantial de Paz y Esperanza del municipio de Macanal (Boyacá). Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental.*
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30743/glfandinob.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- Fernández Cortés, Y., Sotto Rodríguez, K. D., & Vargas Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Produccion y Limpia*, 15(1), 93–110. <https://doi.org/10.22507/PML.V15N1A7>
- Ferreira, T., Shuler, J., Guimaraes, R., & Farah, A. (2019). Part I. Coffee production. Chapter 1. Introduction to coffee plant and genetics. In The Royal Society of Chemistry (Ed.), *Production, quality and chemistry* (pp. 1–25). [https://doi.org/https://doi.org/10.1039/9781782622437-00001](https://doi.org/10.1039/9781782622437-00001)
- Fianko, D. A., Nartey, E. K., Abekoe, M. K., Adjadeh, T. A., Lawson, I. Y. D., Amoatey, C. A., Sulemana, N., Akumah, A. M., Baba, M. E., & Asuming-Brempong, S. (2023). Sustainable P-enriched biochar-compost production: Harnessing the prospects of maize stover and groundnut husk in Ghana's Guinea Savanna. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1252305>
- Fierro-Cabral, N., Contreras Olivia, A., González Ríos, O., Rosas Mendoza, E., & Morales Ramos, V. (2018). Caracterización química y nutrimental de la pulpa de café (*Coffea arabica* L.). *Agroproductividad*, 11 (4), 9–13.
- Flores, S., Espinosa, D., & Serrano, J. (2021). Physicochemical maturity parameters in the coffee pulp-cow manure vermicomposted mixture. *Revista Fitotec*, 44(4), 553–560. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802021000400553&lng=es&nrm=iso
- Flores-Solórzano, S. B., Espinosa-Victoria, D., & Serrano-Casillas, J. A. (2021). Physicochemical maturity parameters in the coffee pulp-cow manure vermicomposted mixture. *Rev. Fitotec*, 44(4), 553–560. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802021000400553&script=sci_arttext&utm_source=chatgpt.com



FNC. (2023). *Informe de gestión 2023. Escuchamos, hacemos y transformamos.*

<https://huila.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/4/2024/05/INFORME-DE-GESTIO%CC%81N-2023-Comite%CC%81-de-cafeteros-del-Huila.pdf>

FNC. (2024). *Informe del gerente. La fuerza es de todos. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.*

https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2024/12/IG-2024-93-CNC_Digital.pdf

FNC. (2025). *Café de Huila - Federación Nacional de Cafeteros Huila.*

<https://huila.federaciondecafeteros.org/cafe-de-huila/>

Głąb, T., Gondek, K., & Mierzwa-Hersztek, M. (2025). Enhancing soil physical quality with compost amendments: Effects of particle size and additives. *Agronomy*, 15 (2)(2), 2–18.

<https://doi.org/10.3390/agronomy15020458>

Gómez, J. C. (2021). *Diseño de proceso Lean de transformación de pulpa de café para la generación de insumos de productos secundarios en la finca cafetera El Alto, Machetá Cundinamarca. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería Industrial.* [Universidad de la Salle].

<https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/df9a227e-e6d3-466f-bbd7-d126fddefe35/content>

González, D., Ortiz, J., Mejía, Y., García, L., & Cifuentes, X. (2020). Vista de evaluación de la biomasa residual (cereza) de café como sustrato para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* _ Revista ION. *ION*, 33(1), 93–102.

Gu, S., Ji, Z., Li, X., Qin, H., Li, M., Zhang, L., Zhang, J., Huang, H., & Luo, L. (2025). Organic matter components rather than microbial enzymes and genes predominate CO₂/CH₄ emissions during composting amended with biochar at different stages. *Environmental Pollution*, 373, 2–10.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126129>



- Hoseini, M., Cocco, S., Casucci, C., Cardelli, V., & Corti, G. (2021). Coffee by-products derived resources: A review. *Biomass and Bioenergy*, 148, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106009>
- ICA. (2015). *Cartilla práctica para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológica*. <https://www.ica.gov.co/noticias/agricola/el-ica-emite-cartilla-para-la-elaboracion-de-abono>
- ICO. (2023). *Coffee development report 2022-23 beyond coffee towards a circular coffee economy*. <https://www.icocoffee.org/documents/cy2024-25/coffee-development-report-2022-23.pdf>
- Incontec. (2022). *Norma Técnica Colombiana NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. (Incontec, Ed.; 3rd ed.).
- Ippolito, J. A., Cui, L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., Cayuela, M. L., Sigua, G., Novak, J., Spokas, K., & Borchard, N. (2020). Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: A comprehensive meta-data analysis review. In *Biochar* (Vol. 2, Number 4, pp. 421–438). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00067-x>
- Kalina, M., Sovova, S., Svec, J., Trudicova, M., Hajzler, J., Kubikova, L., & Enev, V. (2022). The effect of pyrolysis temperature and the source biomass on the properties of biochar produced for the agronomical applications as the soil conditioner. *Materials*, 15(24), 2–13. <https://doi.org/10.3390/ma15248855>
- Khan, N., Bolan, N., Stephen, J., Lan, M., Meier, S., Kookana, R., Borchard, N., Sánchez, M., Jindo, K., Solaiman, Z., Alrajhi, A. A., Binoy, S., Basak, B., Hailong, W., Wong, J., Manu, M., Kader, A., Wang, Q., Li, R., ... Qiu, R. (2023). Complementing compost with biochar for agriculture, soil remediation



and climate mitigation. *Advances in Agronomy*, 179, 1–90.

<https://doi.org/10.1016/BS.AGRON.2023.01.001>

Labanya, R., Srivastava, P. C., Pachauri, S. P., Shukla, A. K., Shrivastava, M., & Srivastava, P. (2022). Effect of three plant biomasses and two pyrolysis temperatures on structural characteristics of biochar.

Chemistry and Ecology, 38(5), 430–450. <https://doi.org/10.1080/02757540.2022.2075858>

Li, Z., Yu, S., Sun, H., Singh, R. P., Fu, D., & Yan, Y. (2026). Biochar amendment combined with green waste for enhancing household food waste co-composting: Optimization of biochar particle size and dosage. *Environmental Technology and Innovation*, 41.

<https://doi.org/10.1016/j.eti.2026.104799>

Manka'abusi, D., Häring, V., Steiner, C., Heinze, S., Abubakari, A. H., Yeboah, E., & Marschner, B. (2025).

Biochar effects on carbon and nitrogen dynamics during co-composting of poultry manure with carbonized and uncarbonized organic materials in Sub-Saharan Africa. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 188, 251–264. <https://doi.org/10.1002/jpln.202300254>

Martínez, L., & Martínez, E. (2022). *Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos de cultivos generados en diferentes municipios del departamento de Córdoba (Puerto Escondido,*

Chinú, Cereté y Montería). Trabajo de grado para optar el título de Químico. [Universidad de Córdoba]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/df856dbb-9efc-4a2f-8f01-c825c4c230c9>

Martínez, S., Hernández, F., Aguilar, C., & Rodríguez, R. (2019). Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana. *Investigación y Ciencia*, 27 (77), 73–79. <https://www.redalyc.org/journal/674/67459697009/html/>



- Mi, J., Hou, L., Hou, Y., Song, C., Pan, L., & Wei, Z. (2025). Enhancing compost quality: Biochar and zeolite's role in nitrogen transformation and retention. *Science of the Total Environment*, 963, 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178490>
- Montes, G. (2019). *Efecto del beneficio húmedo centralizado del café (BHCC) en las propiedades físicas y químicas del suelo próximas a la planta en la C.A.F.E El Palomar* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2194/1/T026_73471589_T.pdf
- Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya-Restrepo, E., Puerta-Quintero, G., Oliveros-Tascón, C., & Cadena -Gómez, G. (2008). Propiedades física y factores de conversión del café en el proceso de beneficio (Boletín técnico No. 370). In Federación Nacional de Cafeteros (Ed.), *Cenicafé*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>
- Moreno, N., Ariel, C., & Romero Jiménez, A. (2016). *Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras*. Tesis de maestría, Universidad de Manizales. RIDUM Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
- Muñoz Cuarán, A. Y., & Salamanca Ordoñez, C. A. (2023). *Utilización de microorganismos eficientes en el compostaje de pulpa de café. Trabajo de grado para optar el título de ingenieros agropecuarios*.
- Navarro, Y. (2023). *Boletín técnico. Compostaje de la pulpa de café*. <https://www.anacafe.org/uploads/file/7b99975ee9d0478db47df904a1282888/Boletin-Compostaje-Marzo-2023.pdf>
- Nguyen, M. K., Lin, C., Hoang, H. G., Sanderson, P., Dang, B. T., Bui, X. T., Nguyen, N. S. H., Vo, D. V. N., & Tran, H. T. (2022). Evaluate the role of biochar during the organic waste composting process: A critical review. *Chemosphere*, 299. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134488>



Ninlaphong, P., Iamsaard, K., Kullachonphuri, S., Soilueang, P., Chromkaew, Y., Nakdee, M., Uttarotai, T.,

Chen, Y., & Khongdee, N. (2025). Physicochemical characterization of coffee pulp-derived biochar and its effects on soil abiotic and biotic properties. *Cleaner Waste Systems*, 12.

<https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100341>

Oldfield, T., Sikirica, N., Mondini, C., López, G., Kuikman, P., & Holden, N. (2018). Biochar, compost and biochar-compost blend as options to recover nutrients and sequester carbon. *Journal of Environmental Management*, 218, 465–476. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.061>

Olivera, E., González, D., Kaal, J., Camps, M., & Sánchez, A. (2025). Commercial-scale co-composting of wood-derived biochar with source-selected organic fraction of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 431, 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132595>

Oviedo, E., Soto, J., Parra, B., Zafra, G., Maeda, T., Galezo, A., Diaz, J., & Sanchez, V. (2025). Effect of biochar addition in two different phases of the co-composting of green waste and food waste: An analysis of the process, product quality and microbial community. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02878-6>

Pardo, S., Suárez, M., Camilo, M., Rojas, D., & Estrada, G. (2024). *Guía de compostaje para agricultores* (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7407808>

Park, S. W., Park, B. K., Ju, Y. W., Benashvili, M., Moon, C. R., Lee, S., Lee, J., & Son, Y. J. (2025). Inoculation of starter cultures in dry processing enhanced the contents of bioactive compounds and sensory characteristics of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Food Chemistry*, 475, 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143226>



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS

SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ

Parlindungan, Y., Suarta, M., Dewa, N., Sudita, N., Luh, N., & Dewi, S. (2024). The effectiveness of biochar

and compost-based fertilizers in restoring soil fertility and red chili yields. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 46 (2), 339–354.

<https://www.proquest.com/agriculturejournals/docview/3059853065/33A125588C0547C9PQ/4?accountid=48710&sourcetype=Scholarly%20Journals>

Parvari, E., Mahajan, D., & Hewitt, E. L. (2025). A review of biomass pyrolysis for production of fuels:

Chemistry, processing, and techno-economic analysis. *Biomass (Switzerland)*, 5(3).

<https://doi.org/10.3390/biomass5030054>

Quispe, K., & Velasquez, J. (2024). *Estudio del impacto del biocarbón en el tratamiento y rendimiento del suelo. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental*. [Universidad César vallejo].

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/155369/Quispe_CKF-Velasquez_FJK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramos, P., Sanz, J., & Oliveros, C. (2010). Identificación y clasificación de frutos de café en tiempo real, a través de la medición de color. *Cenicafé*, 61(4), 315–326.

[https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(04\)315-326.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(04)315-326.pdf)

Rendón, J. R., Grajales, A. M., & Salazar, H. M. (2023). Efecto de la renovación por zoca y podas en la

biomasa de raíces de café. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74105. <https://doi.org/10.38141/10778/74105>

Restrepo, L., & Villa, G. (2020). *Estrategias para el aprovechamiento de la pulpa de café en las fincas cafeteras del municipio de Andes, Antioquia*.

<https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/773/Pulpa%20cafe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- Ríos, E., & Florida, N. (2023). Caracterización de compost de residuos sólidos orgánicos urbanos de seis distritos de la provincia de Leoncio Prado, Perú. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 26 (1), 2–12. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/2371/3097>
- Rodríguez, N. (2023). Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos. In *Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0032>
- Ruiz-Nájera, R. E., Medina-Meléndez, J. A., Carmona-De la Torre, J., Rincón, G., Sánchez Yañez, J. M., & Raj - Aryal, D. (2021). Effect of the disposal of coffee wet milling residues on the physical and chemical characteristics of natural flowing water. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.884>
- Sánchez, A. (2022). *Rendimiento y estado nutricional del café (Coffea arabica L.) en respuesta a aplicación de biocarbón. Tesis como requisito parcial para optar al título de Doctor en Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional Colombia.
- Sánchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., & Bolan, N. (2018). Role of biochar as an additive in organic waste composting. In *Bioresource Technology* (Vol. 247, pp. 1155–1164). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.193>
- Sánchez-Reinoso, A. D., Ávila-Pedraza, E. Á., Lombardini, L., & Restrepo-Díaz, H. (2023). The application of coffee pulp biochar improves the physical, chemical, and biological characteristics of soil for coffee cultivation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 2512–2524. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01208-4>
- Santos, É. M. dos, Macedo, L. M. de, Tundisi, L. L., Ataíde, J. A., Camargo, G. A., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P. P., & Mazzola, P. G. (2021). Coffee by-products in topical formulations: A review. In *Trends in*



Food Science and Technology (Vol. 111, pp. 280–291). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.064>

Sebahire, F., Faridullah, F., Irshad, M., Bacha, A. U. R., Hafeez, F., & Nduwamungu, J. (2024). Effect of biochar on composting of cow manure and kitchen waste. *Land*, 13(10).

<https://doi.org/10.3390/land13101545>

Serna, J., Torres, L., Martínez, K., & Hernández, C. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista ION*, 31 (1), 37–42.

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/8757/9127>

Soto, G., Chin, J., Chinchilla, C., & Pérez, M. (2023). *Manual de Biocarbón para una agricultura sostenible*.

Experiencias en Costa Rica. (Universidad de Costa Rica, Ed.; Primera edición). www.cica.ucr.ac.cr

Stephen, J., Cowie, A., Van, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., Cayuela, M., Graber, E., Ippolito, J.,

Kuzyakov, Y., Luo, Y., Sik, Y., Palansooriya, K., Shepherd, J., Stephens, S., Weng, Z., & Lehmann, J.

(2021). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*, 13(11), 1731–1764. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12885>

Sullivan, D., Bary, A., Miller, R., & Brewer, L. (2018). *Interpreting compost analyses*.

https://extension.oregonstate.edu/es/catalog/em-9217-interpreting-compost-analyses?utm_source=chatgpt.com

Tessfaw, Z. A., Beyene, A., Nebiyu, A., Pikoń, K., & Landrat, M. (2020). Co-composting of khat-derived biochar with municipal solid waste: A sustainable practice of waste management. *Sustainability*

(Switzerland), 12(24), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su122410668>



- Tomczyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 19, Number 1, pp. 191–215). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
- UPRA. (2023). *Evaluaciones Agropecuarias - EVA y Anuario Estadístico del Sector Agropecuario*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Urquijo Trujillo, E. (2016). Identificación de impactos ambientales relacionados con el proceso de beneficio húmedo del café en la vereda de Tres Esquinas - Huila - Colombia. *Universidad Militar Nueva Granada*, 2–7.
- Velásquez, C. (2023). *Análisis fisicoquímico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa residual de “El Carrasco”, según la normativa NTC 5167 de 2004. Trabajo de grado para optar el título de ingeniería química*. Universidad Industrial de Santander.
- Velásquez Reyes, C. (2023). *Velásquez, C.2023. Análisis fisicoquímico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa residual de “El Carrasco”, según la normativa NTC 5167 de 2004. Trabajo de grado para optar el título de ingeniería química*. Universidad Industrial de Santander.
- Vides, K., & Vargas, J. (2025). *Evaluación del efecto del biocarbón en el co-compostaje de estiércol de pollo y co-sustrato en condiciones ambientales del Páramo de Berlín. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero(a) Civil*. [Universidad Industrial de Santander]. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/afd541cc-b32c-49ed-9d1e-c96fe83af7a0/content>
- Wang, Z., Zhang, M., Li, J., Wang, J., Sun, G., Yang, G., & Li, J. (2024). Effect of biochar with various pore characteristics on heavy metal passivation and microbiota development during pig manure



composting. *Journal of Environmental Management*, 352.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120048>

Waqas, M., Hashim, S., Humphries, U. W., Ahmad, S., Noor, R., Shoaib, M., Naseem, A., Hlaing, P. T., & Lin, H. A. (2023). Composting processes for agricultural waste management: A comprehensive review. *Processes*, 11(3), 2–24. <https://doi.org/10.3390/pr11030731>

Xiao, R., Awasthi, M. K., Li, R., Park, J., Pensky, S. M., Wang, Q., Wang, J. J., & Zhang, Z. (2017). Recent developments in biochar utilization as an additive in organic solid waste composting: A review. *Bioresource Technology*, 246, 203–213. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2017.07.090>

Yadesa Hirpa, G. (2020). Evaluation of some physicochemical parameters of compost produced from coffee pulp and locally available organic matter at Dale District, Southern Ethiopia. *American Journal of Bioscience and Bioengineering*, 8(2), 17. <https://doi.org/10.11648/j.bio.20200802.11>

Yu, M., Gao, Y., Wang, R., Wu, W., Qiu, J., Huang, Y., Beiyuan, J., Cheng, H., Zhao, Y., Cheng, Z., & Wang, H. (2026). Effects of lignin, hemicellulose, and cellulose of feedstock and pyrolytic temperature on the composition and properties of biochar-derived dissolved organic matter. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 194, 107572. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2025.107572>

Zhao, B., Xu, H., Zhang, T., Nan, X., & Ma, F. (2018). Effect of pyrolysis temperature on sulfur content, extractable fraction and release of sulfate in corn straw biochar. *RSC Advances*, 8(62), 35611–35617. <https://doi.org/10.1039/C8RA06382F>

Zou, J., Hua, Y., Cheng, Y., Mo, L., Tang, S., Chen, F., Jiang, Q., He, J., Huang, M., Zhao, L., & Shen, F. (2025). A holistic assessment of biochar amendment effects on compost maturation: a meta-analysis. *Biochar X*, 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.48130/bchax-0025-0005>

Anexo No. 1.

Análisis de laboratorios biocarbón.

Eurofins Umwelt Ost GmbH - Lindenstraße 11 - Zona comercial Freiberg East -
D-09627 Bobritzsch-Hilbersdorf

Cotierra AG
Hallwylstraße 72
8004 Zürich
SUIZA

Título: Informe de prueba para el pedido 12425323
Número de informe de prueba: AR-24-FR-035834-01

Título del pedido: Investigación del biocarbón

Número de muestras: 2
Tipo de ejemplo: biocarbón
Dechado: sin información, la(s) muestra(s) fueron entregadas al laboratorio

Fecha de recepción de la muestra: 12 de junio de 2024
Período de prueba: 12 de junio de 2024 - 5 de julio de 2024

Los resultados de la prueba se refieren exclusivamente a los elementos de prueba examinados. Si el muestreo no fue realizado por nuestro laboratorio o por cuenta nuestra, no se asume ninguna responsabilidad por ello. Este informe de prueba contiene una firma electrónica cualificada y sólo puede distribuirse íntegramente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren en cada caso la aprobación de EUROFINS UMWELT.

Se aplican las Condiciones Generales de Venta (AVB) a menos que se hayan acordado otras normas. Puede consultar los Términos y condiciones generales actuales en <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx>.

El laboratorio de pruebas encargado está acreditado por DAkkS según DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS. La acreditación sólo aplica para el alcance listado en el documento adjunto (D-PL-14081-01-00).

Archivos adjuntos:
XML_Export_AR-24-FR-035834-01.xml

Stefan Seifert
Cable de prueba
+49 3731 2076 615

Firmado digitalmente el 08/07/2024
Katja Schulze
pídebae



Eurofins Medioambiente Este GmbH
Löbstedterstraße 78
D-07749 Jena

Telf. +49 3641 4649 0
fax +493641464919
info_jena@eurofins.de
www.eurofins.de/umwelt

Director General: Marc Hitzke, Axel Ulbricht
Tribunal de distrito de Jena HRB 202596
Número de identificación del IVA DE 151 28 1997

Datos bancarios: UniCredit Bank AG
Código bancario 207 300 17
Cuenta 7000000550
IBAN DE07 2073 0017 7000 0005 50
BIC/SWIFT HYVEDEMM17

				Nombre de la muestra		muestra de biocarbón 1		muestra de biocarbón 2	
				Numero de muestra		124090679		124090686	
parámetro	Laboratorio	Accr.	método	bg	Unidad	anl	wf	anl	wf
Propiedades del biocarbón									
Densidad aparente < 3 mm	FR		Residencia en Método VDLUFA A 13.2.1		kg/m³	-	272	-	273
Densidad a Granel	FR	Q5	DINEN ISO 17828: 2016-05		kg/m³	222	-	198	-
Capacidad de retención de agua (WHC) <2mm	FR		DIN EN ISO 14238, A: 2014-03		%	-	154,4	-	147,3
Contenido total de agua	FR	Q5	DIN 51718: 2002-06	0.1	Masa%	7.2	-	2.5	-
Contenido de cenizas (550°C)	FR	Q5	DIN 51719: 1997-07	0.1	Masa%	4.8	5.2	1.9	2.0
Carbono total	FR	Q5	DIN 51732: 2014-07	0,2	Masa%	81,9	88.3	87,2	89,4
carbono, orgánico	FR		cálculo		Masa%	81,6	88.0	86,6	88,7
hidrógeno	FR	Q5	DIN 51732: 2014-07	0.1	Masa%	1.6	1.7	2.7	2.8
Nitrógeno, total	FR	Q5	DIN 51732: 2014-07	0,05	Masa%	1.05	1.13	0,32	0,33
Azufre (S)	FR	Q5	DIN 51724-3: 2012-07	0,03	Masa%	0,05	0,06	< 0,03	< 0,03
TIC	FR	Q5	DIN 51726: 2004-06	0.1	Masa%	0.3	0.3	0,6	0,7
Carbonato CO2	FR	Q5	DIN 51726: 2004-06	0,4	Masa%	1.1	1.2	2.3	2.4
pH en CaCl2	FR		DIN ISO 10390: 2005-12			8.8	-	8.6	-
Conductividad a 1,2 t de presión FR			SAA-H-Lf-carbón- vegetal.040	0,01	ms/cm	-	9.2	-	< 0,01
Conductividad a 2 t de presión	FR		SAA-H-Lf-carbón- vegetal.040	0,01	ms/cm	-	13	-	0,01
Conductividad a 3 t de presión	FR		SAA-H-Lf-carbón- vegetal.040	0,01	ms/cm	-	13	-	0,03
Conductividad a 4 t de presión	FR		SAA-H-Lf-carbón- vegetal.040	0,01	ms/cm	-	21	-	0,04
Conductividad a 5 t de presión	FR		Planta SAA-H-Lf carbón.040	0,01	ms/cm	-	21	-	0,05

				Nombre de la muestra		muestra de biocarbón 1		muestra de biocarbón 2	
				Numero de muestra		124090679		124090686	
parámetro	Laboratorio	Accr. método		bg	Unidad	anl	wf	anl	wf
Organo. Sustancias nocivas del extracto de tolueno según DIN EN 17503 (extracto-verf. 10.2.3)									
naftalina	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	6.6	-	11
acenaftileno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	< 0,1
acenafteno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	< 0,1
fluoreno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	0.2	-	0.3
fenantreno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	0.9	-	1.5
antraceno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	0.3	-	0,5
fluoranteno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	0,4	-	0,4
pireno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	0,4	-	0,4
Benzo[a]antraceno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	0,2
Crisén	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	0,2
Benzo[b]fluoranteno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	0.1
Benzo[k]fluoranteno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	< 0,1
Benzo[a]pireno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	< 0,1
Indeno[1,2,3-cd]pireno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	< 0,1
Dibenzo[a,h]antraceno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	< 0,1
Benzo[ghi]perileno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	< 0,1
Total 8 EFSA-PAK excl. bg	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08		mg/kg	-	¹⁾ (nótese bien)	-	0,5
Total 16 EPA-PAK excl. bg	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08		mg/kg	-	8.8	-	14.6
Benzo(e)pireno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	< 0,1
Benzo[j]fluoranteno	FR	Q5	DIN EN 17503, procedimiento 10.2.3: 2022-08	0.1	mg/kg	-	< 0,1	-	nótese bien

				Nombre de la muestra		muestra de biocarbón 1		muestra de biocarbón 2	
				Numero de muestra		124090679		124090686	
parámetro	Laboratorio.	Accr.	método	bg	Unidad	anl	wf	anl	wf
Elementos de la sustancia original.									
oxígeno	FR	Q5	DIN 51733: 2016-04		Masa%	3.4	3.6	5.4	5.5

Explicaciones

BG - Limite de determinación y

- Condiciones de entrega

wf - estado anhidro

Laboratorio. - Abreviatura del laboratorio conductor.

Accr. - Abreviatura de acreditación del laboratorio de ensayos.

Comentarios sobre los resultados 1)

no calculable

Benzo(j)fluoranteno - nb

nb: no se puede determinar, resolución cromatográfica R<0,8 (señales resueltas de forma incompleta debido a la superposición de picos de benzo(b)fluoranteno y benzo(j)fluoranteno)

Los parámetros marcados como FR fueron analizados por Eurofins Umwelt Ost GmbH (Lindenstrasse 11, área comercial Freiberg Ost, Bobritzsch-Hilbersdorf). La determinación de los parámetros marcados F5 está acreditada según DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00.

	Laboratorio de Ciencias de la Energía	Fecha: 09/07/2025
		Versión: 01
	INFORME DE RESULTADOS	Solicitante: COTIERRA
		Páginas: 1

Solicitud: Extensión

Fecha de reporte: 09/06/2025

Cliente: Luz Daniela Trujillo

Muestra: Una muestra de biochar

RESULTADOS:

Equipo donde se realiza el ensayo

Analizador de porosidad TriStar II Plus de Micromeritics®

Metodología

Previo a las mediciones de adsorción, las muestras fueron desgasificadas a una temperatura de 250°C por un periodo de 24 horas, con el fin de liberar la humedad contenida en los poros. El área superficial y volumen de microporos fueron calculadas a partir de las isothermas de adsorción de CO₂ a 237 K, mediante el modelo de adsorción de Dubinin Raduskevich..

RESULTADOS

Los resultados de la medición de porosidad se presentan en un archivo Excel (muestra terminada en -c). A continuación, se presentan los datos más relevantes:

Tabla 1. Resultados principales obtenidos realizando la medición con CO₂, modelo de adsorción Single Point y Dubinin-Raduskevich.

Muestra	Área superficial equivalente (m ² /g)	Capacidad Límite de microporos (cm ³ /g)	Volumen Límite de microporo (cm ³ /g)	Área superficial Single point (m ² /g)
M1_CO2_COTIERRA-c	307.306281	62.667207	0.114719 ± 0.000015	190,9811

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Laboratorio de Ciencias de la Energía	Fecha: 09/07/2025
		Versión: 01
	INFORME DE RESULTADOS	Solicitante: COTIERRA
		Páginas: 1

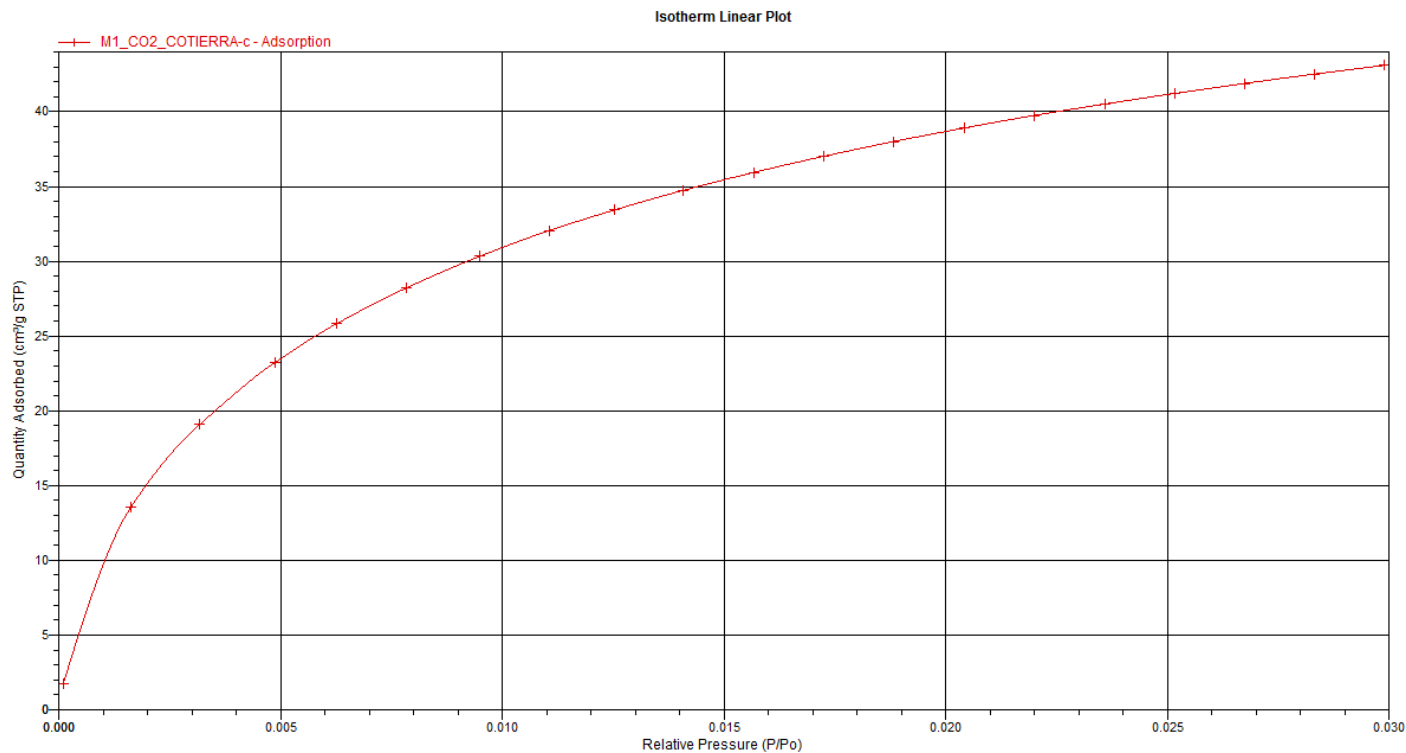


Figura 1. Curva de adsorción de CO₂ de la muestra de Biochar

Observaciones

Este informe no se puede reproducir ni parcial ni totalmente
Los resultados son aplicables solo a la muestra de ensayo

Revisado:

I.Q Carlos A. Londoño Giraldo

Coordinador de Laboratorio

Laboratorio Ciencias de la Energía

INFORME DE ANÁLISIS No. 47
FECHA DE EXPEDICIÓN Julio 02 de 2025
ANÁLISIS REPORTADOS 6

INFORMACIÓN DEL USUARIO

NOMBRE Cotierra Colombia S.A.S.
TELÉFONO 3203108367
e-Mail <luztrujillo@usantomas.edu.co>

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

TIPO Biocarbón a base de zoca de café
IDENTIFICACIÓN 253620355
FECHA DE RECEPCIÓN Junio 12 de 2025
FECHA DE EJECUCIÓN Julio 01 de 2025

ANÁLISIS	REPORTE	REPORTE	ANÁLISIS	REPORTE	REPORTE
	(Base húmeda)	(Base seca)		(Base húmeda)	(Base seca)
MATERIA SECA (%) ¹	47,5		DIGESTIBILIDAD <i>IN VITRO</i> DE LA MS (%) ⁴		
NITROGENO (%) ¹			DIGESTIBILIDAD <i>IN SITU</i> DE LA MS (%)		
PROTEÍNA CRUDA (Nx6,25) (%) ⁶			DIGESTIBILIDAD EN PEPSINA 0,2 (%)		
NITROGENO NO PROTEICO (%PC) ²			CALCIO (%CZ) ¹		
NITROGENO SOLUBLE (%PC) ²			FOSFORO (%) ¹		
NITROGENO LIGADO A FDA (%) ²			POTASIO (%) ¹		
NITROGENO LIGADO A FDN (%) ²			MAGNESIO (%) ¹		
NITROGENO LIGADO A FDN (%PC) ²			SODIO (mg/Kg) ¹		
FIBRA CRUDA (%) ¹			MANGANESO (mg/kg) ¹		
FIBRA EN DETERGENTE NEUTRO (%) ³	40,1	84,4	CROMO (%) ¹		
FIBRA EN DETERGENTE ACIDO (%) ³	39,7	83,6	ZINC (mg/kg) ¹		
LIGNINA (%) ³	9,1	19,1	COBRE (mg/Kg) ¹ LD 0,010		
HEMICELULOSA (%)	0,4	0,8	COBALTO (mg/Kg) ¹ LD 0,01		
CELULOSA (%)	30,7	64,5	HIERRO (mg/Kg) ¹		
CENIZAS (%) ¹			ENERGIA BRUTA (Mcal/kg)		
pH			AZUFRE (%)		

REFERENCIAS

- 1 A.O.A.C., 2019. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists, (21th ed.).
- 2 Animal Feed Science and Technology (1996) 57:347-348
- 3 Journal of Dairy Science (1991) 74:3583-3597
- 4 Mediciones indirectas, solubilidad en soluciones detergentes.
 Hemicelulosa= Fibra en detergente neutro - Fibra en detergente ácido.
 Celulosa= Fibra en detergente ácido - Lignina.

Tiempo de retención de la muestra: 6 meses a partir de la emisión del presente reporte.

Consideración: Los datos reportados por este laboratorio solo podrán ser usados con fines de investigación.

APROBADO POR


JUAN E. CARULLA FORNAGUERA
 Director de Laboratorio

ELABORADO POR


JÉNIFER ALIETH MURILLO GARZÓN
 Coordinadora de Laboratorio

Este informe expresa fielmente el resultado de los análisis realizados sobre la muestra recibida. No podrá ser reproducido parcial ni totalmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso escrito por parte del laboratorio que lo emite. Los resultados contenidos en el presente informe, se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los análisis y son emitidos exclusivamente con fines de investigación. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los resultados entregados.

Anexo No. 2.

Análisis de laboratorio de compost

**ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES
 ORGÁNICOS**
Informe N° 16580-V1-2025

N° de Laboratorio

AMO-00648-2025

Información del Cliente			
Remitente	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Responsable	SRA. LUZ DANIELA TRUJILLO
Propietario	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Email contacto	maria052@gmail.com; ltrujiilovela@gmail.com; luztrujillov@usantotomas.edu.co
Fecha Ingreso	2025-04-16	Fecha Emisión	2025-04-30

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	TRATAMIENTO 1 PILA 1 30%	Lote / Bloque	T1 P1 30%
Fuente del Material / Inf. Adicional	COMPOSTAJE PULPA DE CAFE 70% Y BIOCARBON 30%	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARCIAL				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	54.2	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	79.1	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	6.50	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	23.3	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.426	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	11.6	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	14	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	0.834	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	0.834	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P ₂ O ₅	0.302	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría / NTC 234 (r)
Potasio Total	K ₂ O	1.52	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	1.24	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.232	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	0.797	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
NINGUNO	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:
Revisado por:



Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081



David Ruiz

Coordinador de Área (E)-Químico-PQ-05720

Notas:

PARA MUESTRAS SÓLIDAS LOS RESULTADOS CONSIGNADOS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁN EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

En AGRILAB LABORATORIOS SAS contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-020, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017. Las actividades del laboratorio que no están marcadas con (a), no están incluidas en el certificado de acreditación.

Los métodos analíticos empleados para realizar los ensayos están clasificados de acuerdo con su reconocimiento como análisis ACREDITADOS ONAC (a), REGISTRADOS ANTE EL ICA (r) o SUBCONTRATADOS (s). Esta clasificación se puede observar en la columna: Extractante/ Técnica/Documento Normativo en nuestros informes de resultados, cotizaciones y contratos.

1. El presente informe registra fielmente los resultados de las variables solicitadas por el cliente y corresponden exclusivamente a la muestra tal y como se recibió, analizada en las fechas indicadas.
2. El informe solo tiene validez si está firmado por el personal autorizado por AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.
3. La información contenida en este informe es de carácter confidencial, por lo cual su reproducción total o parcial, sólo podrá ser hecha con autorización expresa de AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. o por el cliente propietario del mismo.
4. La fecha de ejecución de los ensayos corresponde al periodo comprendido entre la fecha de ingreso y la fecha de emisión del presente informe de resultados.
5. AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no presta los servicios de muestreo en campo, por lo tanto, la idoneidad y representatividad de la muestra analizada y por ende de sus resultados, es responsabilidad del remitente de la misma.
6. En el caso de análisis subcontratados, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. es responsable frente al cliente del trabajo realizado por el subcontratista, siempre y cuando este haya sido aprobado y contratado por el laboratorio y aceptado por el cliente.
7. La verificación de resultados mediante ensayos de laboratorio se realizará máximo 15 días hábiles luego de emitido el presente informe de resultados, siempre y cuando las condiciones de estabilidad del analito en la muestra permitan su reproducibilidad.
8. Cuando se requiera que la muestra se analice admitiendo condiciones de recepción distintas a la CONFORME, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no se hace responsable de la afectación que esta desviación pueda tener en los resultados y solicitará aprobación del cliente antes de su ingreso, recordándole que estos análisis no tendrán verificación.
9. Para Peticiones, Quejas o Sugerencias (PQS) sobre los resultados emitidos y/o los servicios prestados, comuníquese al correo servicioalcliente@agrilab.com.co

---- Fin del Informe ----

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA E INDUSTRIAL
Calle 79B N° 70-16 Bogotá, D.C. PBX: 7454697 / 315 323 7652
www.agrilab.com.co

**ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES
 ORGÁNICOS**
Informe N° 17265-V1-2025

N° de Laboratorio

AMO-00649-2025

Información del Cliente			
Remitente	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Responsable	SRA. LUZ DANIELA TRUJILLO
Propietario	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Email contacto	maria052@gmail.com; ltrujiilovela@gmail.com; luztrujillov@usantotomas.edu.co
Fecha Ingreso	2025-04-16	Fecha Emisión	2025-05-06

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	TRATAMIENTO 1 PILA 2 30%	Lote / Bloque	T1 P2 30%
Fuente del Material / Inf. Adicional	COMPOSTAJE PULPA DE CAFE 70% Y BIOCARBON 30%	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARCIAL				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	48.8	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	85.3	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	8.23	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	28.6	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.447	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	13.0	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	13	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	0.988	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	0.988	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P ₂ O ₅	0.520	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría /NTC 234 (r)
Potasio Total	K ₂ O	1.78	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	1.35	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.288	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	1.34	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
El resultado de CIC fue verificado.	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente / EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:
Revisado por:



Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081



David Ruiz

Coordinador de Área (E)-Químico-PQ-05720

Notas:

PARA MUESTRAS SÓLIDAS LOS RESULTADOS CONSIGNADOS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁN EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

En AGRILAB LABORATORIOS SAS contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-020, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017. Las actividades del laboratorio que no están marcadas con (a), no están incluidas en el certificado de acreditación.

Los métodos analíticos empleados para realizar los ensayos están clasificados de acuerdo con su reconocimiento como análisis ACREDITADOS ONAC (a), REGISTRADOS ANTE EL ICA (r) o SUBCONTRATADOS (s). Esta clasificación se puede observar en la columna: Extractante/ Técnica/Documento Normativo en nuestros informes de resultados, cotizaciones y contratos.

1. El presente informe registra fielmente los resultados de las variables solicitadas por el cliente y corresponden exclusivamente a la muestra tal y como se recibió, analizada en las fechas indicadas.
2. El informe solo tiene validez si está firmado por el personal autorizado por AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.
3. La información contenida en este informe es de carácter confidencial, por lo cual su reproducción total o parcial, sólo podrá ser hecha con autorización expresa de AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. o por el cliente propietario del mismo.
4. La fecha de ejecución de los ensayos corresponde al periodo comprendido entre la fecha de ingreso y la fecha de emisión del presente informe de resultados.
5. AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no presta los servicios de muestreo en campo, por lo tanto, la idoneidad y representatividad de la muestra analizada y por ende de sus resultados, es responsabilidad del remitente de la misma.
6. En el caso de análisis subcontratados, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. es responsable frente al cliente del trabajo realizado por el subcontratista, siempre y cuando este haya sido aprobado y contratado por el laboratorio y aceptado por el cliente.
7. La verificación de resultados mediante ensayos de laboratorio se realizará máximo 15 días hábiles luego de emitido el presente informe de resultados, siempre y cuando las condiciones de estabilidad del analito en la muestra permitan su reproducibilidad.
8. Cuando se requiera que la muestra se analice admitiendo condiciones de recepción distintas a la CONFORME, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no se hace responsable de la afectación que esta desviación pueda tener en los resultados y solicitará aprobación del cliente antes de su ingreso, recordándole que estos análisis no tendrán verificación.
9. Para Peticiones, Quejas o Sugerencias (PQS) sobre los resultados emitidos y/o los servicios prestados, comuníquese al correo servicioalcliente@agrilab.com.co

---- Fin del Informe ----

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA E INDUSTRIAL
Calle 79B N° 70-16 Bogotá, D.C. PBX: 7454697 / 315 323 7652
www.agrilab.com.co

**ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES
 ORGÁNICOS**
Informe N° 17676-V1-2025

N° de Laboratorio

AMO-00650-2025

Información del Cliente			
Remitente	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Responsable	SRA. LUZ DANIELA TRUJILLO
Propietario	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Email contacto	maria052@gmail.com; ltrujiilovela@gmail.com; luztrujillov@usantotomas.edu.co
Fecha Ingreso	2025-04-16	Fecha Emisión	2025-05-09

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	TRATAMIENTO 1 PILA 3 30%	Lote / Bloque	T1 P3 30%
Fuente del Material / Inf. Adicional	COMPOSTAJE PULPA DE CAFE 70% Y BIOCARBON 30%	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

ANÁLISIS FISCOQUÍMICO PARCIAL				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	38.3	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	105	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	8.76	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	23.3	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.437	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	14.5	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	12	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	1.25	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	1.25	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P ₂ O ₅	0.394	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría /NTC 234 (r)
Potasio Total	K ₂ O	2.27	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	1.29	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.263	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	0.962	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
El resultado de Residuo Insoluble en Ácido fue verificado	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:
Revisado por:



Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081



David Ruiz

Coordinador de Área (E)-Químico-PQ-05720

Notas:

PARA MUESTRAS SÓLIDAS LOS RESULTADOS CONSIGNADOS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁN EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

En AGRILAB LABORATORIOS SAS contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-020, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017. Las actividades del laboratorio que no están marcadas con (a), no están incluidas en el certificado de acreditación.

Los métodos analíticos empleados para realizar los ensayos están clasificados de acuerdo con su reconocimiento como análisis ACREDITADOS ONAC (a), REGISTRADOS ANTE EL ICA (r) o SUBCONTRATADOS (s). Esta clasificación se puede observar en la columna: Extractante/ Técnica/Documento Normativo en nuestros informes de resultados, cotizaciones y contratos.

1. El presente informe registra fielmente los resultados de las variables solicitadas por el cliente y corresponden exclusivamente a la muestra tal y como se recibió, analizada en las fechas indicadas.
2. El informe solo tiene validez si está firmado por el personal autorizado por AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.
3. La información contenida en este informe es de carácter confidencial, por lo cual su reproducción total o parcial, sólo podrá ser hecha con autorización expresa de AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. o por el cliente propietario del mismo.
4. La fecha de ejecución de los ensayos corresponde al periodo comprendido entre la fecha de ingreso y la fecha de emisión del presente informe de resultados.
5. AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no presta los servicios de muestreo en campo, por lo tanto, la idoneidad y representatividad de la muestra analizada y por ende de sus resultados, es responsabilidad del remitente de la misma.
6. En el caso de análisis subcontratados, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. es responsable frente al cliente del trabajo realizado por el subcontratista, siempre y cuando este haya sido aprobado y contratado por el laboratorio y aceptado por el cliente.
7. La verificación de resultados mediante ensayos de laboratorio se realizará máximo 15 días hábiles luego de emitido el presente informe de resultados, siempre y cuando las condiciones de estabilidad del analito en la muestra permitan su reproducibilidad.
8. Cuando se requiera que la muestra se analice admitiendo condiciones de recepción distintas a la CONFORME, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no se hace responsable de la afectación que esta desviación pueda tener en los resultados y solicitará aprobación del cliente antes de su ingreso, recordándole que estos análisis no tendrán verificación.
9. Para Peticiones, Quejas o Sugerencias (PQS) sobre los resultados emitidos y/o los servicios prestados, comuníquese al correo servicioalcliente@agrilab.com.co

---- Fin del Informe ----

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA E INDUSTRIAL
Calle 79B N° 70-16 Bogotá, D.C. PBX: 7454697 / 315 323 7652
www.agrilab.com.co

**ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES
 ORGÁNICOS**
Informe N° 16581-V1-2025

N° de Laboratorio

AMO-00651-2025

Información del Cliente			
Remitente	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Responsable	SRA. LUZ DANIELA TRUJILLO
Propietario	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Email contacto	maria052@gmail.com; ltrujiilovela@gmail.com; luztrujillov@usantotomas.edu.co
Fecha Ingreso	2025-04-16	Fecha Emisión	2025-04-30

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	TRATAMIENTO 2 PILA 1 20%	Lote / Bloque	T2 P1 20%
Fuente del Material / Inf. Adicional	COMPOSTAJE PULPA DE CAFE 80% Y BIOCARBON 20%	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARCIAL				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	43.5	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	115	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	10.1	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	38.7	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.443	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	14.2	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	9.7	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	1.47	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	1.47	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P ₂ O ₅	0.603	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría /NTC 234 (r)
Potasio Total	K ₂ O	2.93	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	1.53	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.253	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	0.384	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
NINGUNO	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:
Revisado por:



Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081



David Ruiz

Coordinador de Área (E)-Químico-PQ-05720

Notas:

PARA MUESTRAS SÓLIDAS LOS RESULTADOS CONSIGNADOS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁN EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

En AGRILAB LABORATORIOS SAS contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-020, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017. Las actividades del laboratorio que no están marcadas con (a), no están incluidas en el certificado de acreditación.

Los métodos analíticos empleados para realizar los ensayos están clasificados de acuerdo con su reconocimiento como análisis ACREDITADOS ONAC (a), REGISTRADOS ANTE EL ICA (r) o SUBCONTRATADOS (s). Esta clasificación se puede observar en la columna: Extractante/ Técnica/Documento Normativo en nuestros informes de resultados, cotizaciones y contratos.

1. El presente informe registra fielmente los resultados de las variables solicitadas por el cliente y corresponden exclusivamente a la muestra tal y como se recibió, analizada en las fechas indicadas.
2. El informe solo tiene validez si está firmado por el personal autorizado por AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.
3. La información contenida en este informe es de carácter confidencial, por lo cual su reproducción total o parcial, sólo podrá ser hecha con autorización expresa de AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. o por el cliente propietario del mismo.
4. La fecha de ejecución de los ensayos corresponde al periodo comprendido entre la fecha de ingreso y la fecha de emisión del presente informe de resultados.
5. AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no presta los servicios de muestreo en campo, por lo tanto, la idoneidad y representatividad de la muestra analizada y por ende de sus resultados, es responsabilidad del remitente de la misma.
6. En el caso de análisis subcontratados, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. es responsable frente al cliente del trabajo realizado por el subcontratista, siempre y cuando este haya sido aprobado y contratado por el laboratorio y aceptado por el cliente.
7. La verificación de resultados mediante ensayos de laboratorio se realizará máximo 15 días hábiles luego de emitido el presente informe de resultados, siempre y cuando las condiciones de estabilidad del analito en la muestra permitan su reproducibilidad.
8. Cuando se requiera que la muestra se analice admitiendo condiciones de recepción distintas a la CONFORME, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no se hace responsable de la afectación que esta desviación pueda tener en los resultados y solicitará aprobación del cliente antes de su ingreso, recordándole que estos análisis no tendrán verificación.
9. Para Peticiones, Quejas o Sugerencias (PQS) sobre los resultados emitidos y/o los servicios prestados, comuníquese al correo servicioalcliente@agrilab.com.co

---- Fin del Informe ----

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA E INDUSTRIAL
Calle 79B N° 70-16 Bogotá, D.C. PBX: 7454697 / 315 323 7652
www.agrilab.com.co

**ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES
 ORGÁNICOS**
Informe N° 16582-V1-2025

N° de Laboratorio

AMO-00652-2025

Información del Cliente			
Remitente	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Responsable	SRA. LUZ DANIELA TRUJILLO
Propietario	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Email contacto	maria052@gmail.com; ltrujiilovela@gmail.com; luztrujillov@usantotomas.edu.co
Fecha Ingreso	2025-04-16	Fecha Emisión	2025-04-30

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	TRATAMIENTO 2 PILA 2 20%	Lote / Bloque	T2 P2 20%
Fuente del Material / Inf. Adicional	COMPOSTAJE PULPA DE CAFE 80% Y BIOCARBON 20%	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARCIAL				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	44.8	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	109	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	9.84	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	44.4	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.471	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	14.6	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	11	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	1.37	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	1.37	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P ₂ O ₅	0.559	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría /NTC 234 (r)
Potasio Total	K ₂ O	2.48	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	1.53	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.294	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	0.584	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
NINGUNO	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:
Revisado por:



Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081



David Ruiz

Coordinador de Área (E)-Químico-PQ-05720

Notas:

PARA MUESTRAS SÓLIDAS LOS RESULTADOS CONSIGNADOS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁN EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

En AGRILAB LABORATORIOS SAS contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-020, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017. Las actividades del laboratorio que no están marcadas con (a), no están incluidas en el certificado de acreditación.

Los métodos analíticos empleados para realizar los ensayos están clasificados de acuerdo con su reconocimiento como análisis ACREDITADOS ONAC (a), REGISTRADOS ANTE EL ICA (r) o SUBCONTRATADOS (s). Esta clasificación se puede observar en la columna: Extractante/ Técnica/Documento Normativo en nuestros informes de resultados, cotizaciones y contratos.

1. El presente informe registra fielmente los resultados de las variables solicitadas por el cliente y corresponden exclusivamente a la muestra tal y como se recibió, analizada en las fechas indicadas.
2. El informe solo tiene validez si está firmado por el personal autorizado por AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.
3. La información contenida en este informe es de carácter confidencial, por lo cual su reproducción total o parcial, sólo podrá ser hecha con autorización expresa de AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. o por el cliente propietario del mismo.
4. La fecha de ejecución de los ensayos corresponde al periodo comprendido entre la fecha de ingreso y la fecha de emisión del presente informe de resultados.
5. AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no presta los servicios de muestreo en campo, por lo tanto, la idoneidad y representatividad de la muestra analizada y por ende de sus resultados, es responsabilidad del remitente de la misma.
6. En el caso de análisis subcontratados, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. es responsable frente al cliente del trabajo realizado por el subcontratista, siempre y cuando este haya sido aprobado y contratado por el laboratorio y aceptado por el cliente.
7. La verificación de resultados mediante ensayos de laboratorio se realizará máximo 15 días hábiles luego de emitido el presente informe de resultados, siempre y cuando las condiciones de estabilidad del analito en la muestra permitan su reproducibilidad.
8. Cuando se requiera que la muestra se analice admitiendo condiciones de recepción distintas a la CONFORME, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no se hace responsable de la afectación que esta desviación pueda tener en los resultados y solicitará aprobación del cliente antes de su ingreso, recordándole que estos análisis no tendrán verificación.
9. Para Peticiones, Quejas o Sugerencias (PQS) sobre los resultados emitidos y/o los servicios prestados, comuníquese al correo servicioalcliente@agrilab.com.co

---- Fin del Informe ----

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA E INDUSTRIAL
Calle 79B N° 70-16 Bogotá, D.C. PBX: 7454697 / 315 323 7652
www.agrilab.com.co

**ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES
 ORGÁNICOS**
Informe N° 17264-V1-2025

N° de Laboratorio

AMO-00653-2025

Información del Cliente			
Remitente	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Responsable	SRA. LUZ DANIELA TRUJILLO
Propietario	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Email contacto	maria052@gmail.com; ltrujiilovela@gmail.com; luztrujillov@usantotomas.edu.co
Fecha Ingreso	2025-04-16	Fecha Emisión	2025-05-06

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	TRATAMIENTO 2 PILA 3 20%	Lote / Bloque	T2 P3 20%
Fuente del Material / Inf. Adicional	COMPOSTAJE PULPA DE CAFE 80% Y BIOCARBON 20%	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO NEGRO	Condiciones recepción	CONFORME

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARCIAL				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	53.0	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	83.1	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	7.90	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	33.4	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.429	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	11.3	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	9.9	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	1.14	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	1.14	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P ₂ O ₅	0.478	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría /NTC 234 (r)
Potasio Total	K ₂ O	1.93	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	1.12	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.223	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	0.863	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
El resultado de CIC fue verificado.	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente / EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:
Revisado por:



Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081



David Ruiz

Coordinador de Área (E)-Químico-PQ-05720

Notas:

PARA MUESTRAS SÓLIDAS LOS RESULTADOS CONSIGNADOS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁN EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

En AGRILAB LABORATORIOS SAS contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-020, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017. Las actividades del laboratorio que no están marcadas con (a), no están incluidas en el certificado de acreditación.

Los métodos analíticos empleados para realizar los ensayos están clasificados de acuerdo con su reconocimiento como análisis ACREDITADOS ONAC (a), REGISTRADOS ANTE EL ICA (r) o SUBCONTRATADOS (s). Esta clasificación se puede observar en la columna: Extractante/ Técnica/Documento Normativo en nuestros informes de resultados, cotizaciones y contratos.

1. El presente informe registra fielmente los resultados de las variables solicitadas por el cliente y corresponden exclusivamente a la muestra tal y como se recibió, analizada en las fechas indicadas.
2. El informe solo tiene validez si está firmado por el personal autorizado por AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.
3. La información contenida en este informe es de carácter confidencial, por lo cual su reproducción total o parcial, sólo podrá ser hecha con autorización expresa de AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. o por el cliente propietario del mismo.
4. La fecha de ejecución de los ensayos corresponde al periodo comprendido entre la fecha de ingreso y la fecha de emisión del presente informe de resultados.
5. AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no presta los servicios de muestreo en campo, por lo tanto, la idoneidad y representatividad de la muestra analizada y por ende de sus resultados, es responsabilidad del remitente de la misma.
6. En el caso de análisis subcontratados, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. es responsable frente al cliente del trabajo realizado por el subcontratista, siempre y cuando este haya sido aprobado y contratado por el laboratorio y aceptado por el cliente.
7. La verificación de resultados mediante ensayos de laboratorio se realizará máximo 15 días hábiles luego de emitido el presente informe de resultados, siempre y cuando las condiciones de estabilidad del analito en la muestra permitan su reproducibilidad.
8. Cuando se requiera que la muestra se analice admitiendo condiciones de recepción distintas a la CONFORME, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no se hace responsable de la afectación que esta desviación pueda tener en los resultados y solicitará aprobación del cliente antes de su ingreso, recordándole que estos análisis no tendrán verificación.
9. Para Peticiones, Quejas o Sugerencias (PQS) sobre los resultados emitidos y/o los servicios prestados, comuníquese al correo servicioalcliente@agrilab.com.co

---- Fin del Informe ----

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA E INDUSTRIAL
Calle 79B N° 70-16 Bogotá, D.C. PBX: 7454697 / 315 323 7652
www.agrilab.com.co

**ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES
 ORGÁNICOS**
Informe N° 17675-V1-2025

N° de Laboratorio

AMO-00654-2025

Información del Cliente			
Remitente	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Responsable	SRA. LUZ DANIELA TRUJILLO
Propietario	COTIERRA COLOMBIA S.A.S.	Email contacto	maria052@gmail.com; ltrujiillovela@gmail.com; luztrujillov@usantotomas.edu.co
Fecha Ingreso	2025-04-16	Fecha Emisión	2025-05-09

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	PULPA DE CAFE SIN TRATAMIENTO	Lote / Bloque	TESTIGO
Fuente del Material / Inf. Adicional	NINGUNA	Contrato N°	
Descripción Física	MEZCL ADE MATERIAL VEGETAL	Condiciones recepción	CONFORME

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO PARCIAL				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	38.8	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	131	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	12.1	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Cationico - CIC	CIC	61.9	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad Real (en base seca)	N.A.	0.638	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	16.1	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	7.6	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	2.12	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	2.12	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P ₂ O ₅	0.670	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría / NTC 234 (r)
Potasio Total	K ₂ O	2.66	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	1.07	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.257	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	2.30	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167

Observaciones a los resultados:	Convenciones:
El resultado de Residuo Insoluble en Ácido fue verificado	N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

Autorizado por:

Revisado por:



Edna Alejandra Ariza

Director Técnico Operativo - Química - PQ 3081



David Ruiz

Coordinador de Área (E)-Químico-PQ-05720

Notas:

PARA MUESTRAS SÓLIDAS LOS RESULTADOS CONSIGNADOS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁN EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

En AGRILAB LABORATORIOS SAS contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 21-LAB-020, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017. Las actividades del laboratorio que no están marcadas con (a), no están incluidas en el certificado de acreditación.

Los métodos analíticos empleados para realizar los ensayos están clasificados de acuerdo con su reconocimiento como análisis ACREDITADOS ONAC (a), REGISTRADOS ANTE EL ICA (r) o SUBCONTRATADOS (s). Esta clasificación se puede observar en la columna: Extractante/ Técnica/Documento Normativo en nuestros informes de resultados, cotizaciones y contratos.

1. El presente informe registra fielmente los resultados de las variables solicitadas por el cliente y corresponden exclusivamente a la muestra tal y como se recibió, analizada en las fechas indicadas.
2. El informe solo tiene validez si está firmado por el personal autorizado por AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.
3. La información contenida en este informe es de carácter confidencial, por lo cual su reproducción total o parcial, sólo podrá ser hecha con autorización expresa de AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. o por el cliente propietario del mismo.
4. La fecha de ejecución de los ensayos corresponde al periodo comprendido entre la fecha de ingreso y la fecha de emisión del presente informe de resultados.
5. AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no presta los servicios de muestreo en campo, por lo tanto, la idoneidad y representatividad de la muestra analizada y por ende de sus resultados, es responsabilidad del remitente de la misma.
6. En el caso de análisis subcontratados, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. es responsable frente al cliente del trabajo realizado por el subcontratista, siempre y cuando este haya sido aprobado y contratado por el laboratorio y aceptado por el cliente.
7. La verificación de resultados mediante ensayos de laboratorio se realizará máximo 15 días hábiles luego de emitido el presente informe de resultados, siempre y cuando las condiciones de estabilidad del analito en la muestra permitan su reproducibilidad.
8. Cuando se requiera que la muestra se analice admitiendo condiciones de recepción distintas a la CONFORME, AGRILAB LABORATORIOS S.A.S. no se hace responsable de la afectación que esta desviación pueda tener en los resultados y solicitará aprobación del cliente antes de su ingreso, recordándole que estos análisis no tendrán verificación.
9. Para Peticiones, Quejas o Sugerencias (PQS) sobre los resultados emitidos y/o los servicios prestados, comuníquese al correo servicioalcliente@agrilab.com.co

---- Fin del Informe ----

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DEL SECTOR AGRÍCOLA E INDUSTRIAL
Calle 79B N° 70-16 Bogotá, D.C. PBX: 7454697 / 315 323 7652
www.agrilab.com.co

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Laboratorio de Procesos Biogeoquímicos



1. Información del Cliente

Nombre y Apellido: Cotierra Colombia S.A.S.
Cédula o NIT: 901778123-5
Dirección: --
Departamento: Huila
Municipio: Pitalito
Teléfono: 3202058329

2. Información de la Muestra

No Muestra: 1
Matriz: Biocarbón
Vereda: --
Finca: --
Cultivo: --
Tipo de análisis: Caracterización

Variable	Unidad	Método	Resultado	Interpretación
pH	Unidades	ISO 10390	8,45	Levemente a moderadamente alcalino
Humedad	%	ASTM D1762-84	1,37	Muy baja

Observaciones

Revisado por:

Karen Lizeth Polanía Hincapié
Investigadora Lab. Procesos Biogeoquímicos

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Laboratorio de Procesos Biogeoquímicos



1. Información del Cliente

Nombre y Apellido: Cotierra Colombia S.A.S.
Cédula o NIT: 901778123-5
Dirección: --
Departamento: Huila
Municipio: Pitalito
Teléfono: 3202058329

2. Información de la Muestra

No Muestra: 2
Matriz: Biocarbón
Vereda: --
Finca: --
Cultivo: --
Tipo de análisis: Caracterización

Variable	Unidad	Método	Resultado	Interpretación
pH	Unidades	ISO 10390	8,59	Altamente alcalino
Humedad	%	ASTM D1762-84	1,02	Muy baja

Observaciones

Revisado por:

Karen Lizeth Polanía Hincapié
Investigadora Lab. Procesos Biogeoquímicos

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Laboratorio de Procesos Biogeoquímicos



1. Información del Cliente

Nombre y Apellido: Cotierra Colombia S.A.S.
Cédula o NIT: 901778123-5
Dirección: --
Departamento: Huila
Municipio: Pitalito
Teléfono: 3202058329

2. Información de la Muestra

No Muestra: 3
Matriz: Biocarbón
Vereda: --
Finca: --
Cultivo: --
Tipo de análisis: Caracterización

Variable	Unidad	Método	Resultado	Interpretación
pH	Unidades	ISO 10390	8,70	Altamente alcalino
Humedad	%	ASTM D1762-84	0,88	Muy baja

Observaciones

Revisado por:

Karen Lizeth Polanía Hincapié
Investigadora Lab. Procesos Biogeoquímicos

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Laboratorio de Procesos Biogeoquímicos



1. Información del Cliente

Nombre y Apellido: Cotierra Colombia S.A.S.
Cédula o NIT: 901778123-5
Dirección: --
Departamento: Huila
Municipio: Pitalito
Teléfono: 3202058329

2. Información de la Muestra

No Muestra: 4
Matriz: Biocarbón
Vereda: --
Finca: --
Cultivo: --
Tipo de análisis: Caracterización

Variable	Unidad	Método	Resultado	Interpretación
pH	Unidades	ISO 10390	8,74	Altamente alcalino
Humedad	%	ASTM D1762-84	1,00	Muy baja

Observaciones

Revisado por:

Karen Lizeth Polanía Hincapié
Investigadora Lab. Procesos Biogeoquímicos

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Laboratorio de Procesos Biogeoquímicos



1. Información del Cliente

Nombre y Apellido: Cotierra Colombia S.A.S.
Cédula o NIT: 901778123-5
Dirección: --
Departamento: Huila
Municipio: Pitalito
Teléfono: 3202058329

2. Información de la Muestra

No Muestra: 5
Matriz: Biocarbón
Vereda: --
Finca: --
Cultivo: --
Tipo de análisis: Caracterización

Variable	Unidad	Método	Resultado	Interpretación
pH	Unidades	ISO 10390	8,75	Altamente alcalino
Humedad	%	ASTM D1762-84	1,02	Muy baja

Observaciones

Revisado por:

Karen Lizeth Polanía Hincapié
Investigadora Lab. Procesos Biogeoquímicos

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Laboratorio de Procesos Biogeoquímicos



1. Información del Cliente

Nombre y Apellido: Cotierra Colombia S.A.S.
Cédula o NIT: 901778123-5
Dirección: --
Departamento: Huila
Municipio: Pitalito
Teléfono: 3202058329

2. Información de la Muestra

No Muestra: 6
Matriz: Biocarbón
Vereda: --
Finca: --
Cultivo: --
Tipo de análisis: Caracterización

Variable	Unidad	Método	Resultado	Interpretación
pH	Unidades	ISO 10390	8,77	Altamente alcalino
Humedad	%	ASTM D1762-84	1,47	Muy baja

Observaciones

Revisado por:

Karen Lizeth Polanía Hincapié
Investigadora Lab. Procesos Biogeoquímicos

REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Laboratorio de Procesos Biogeoquímicos



1. Información del Cliente

Nombre y Apellido: Cotierra Colombia S.A.S.
Cédula o NIT: 901778123-5
Dirección: --
Departamento: Huila
Municipio: Pitalito
Teléfono: 3202058329

2. Información de la Muestra

No Muestra: 7
Matriz: Biocarbón
Vereda: --
Finca: --
Cultivo: --
Tipo de análisis: Caracterización

Variable	Unidad	Método	Resultado	Interpretación
pH	Unidades	ISO 10390	8,79	Altamente alcalino
Humedad	%	ASTM D1762-84	0,39	Muy baja

Observaciones

Revisado por:

Karen Lizeth Polanía Hincapié
Investigadora Lab. Procesos Biogeoquímicos

Anexo No. 3.

**Bitácora de monitoreo diario de
temperatura**

DÍA	Mes	Octubre				Año	2024																											
	FECHA	Tratamiento 1 (70/30)												Tratamiento 2 (80/20)													Testigo							
		Pila 1				Pila 2				Pila 3				Pila 1				Pila 2				Pila 3					Pila 1							
		° C	° C	° C	PROM	° C	° C	° C	PROM	° C	° C	° C	PROM	° C	° C	° C	PROM	° C	° C	° C	PROM	° C	° C	° C	PROM	° C	° C	° C	PROM					
1	12/10/2024	40			40,0																													
2	13/10/2024	55			55,0																													
3	14/10/2024	58	53	56	55,7	28			28,0	30			30	32			32,0	29			29	32			32,0	38			38,0					
4	15/10/2024	61	59	67	62,3	61	58	58	59,0	46	44	50	46,7	39	43	59	47,0	47	59	55	53,7	41	40	45	42,0	39	42	45	42,0					
5	16/10/2024	64	65	51	60,0	63	64	65	64,0	66	63	70	66,3	68	64	65	65,7	67	66	62	65	67	66	62	65,0	39	38	39	38,7					
6	17/10/2024	56	58	54	56,0	61	59	64	61,3	59	66	61	62	65	61	59	61,7	68	63	65	65,3	67	55	59	60,3	45	52	42	46,3					
7	18/10/2024	55	54	51	53,3	56	53	53	54,0	54	62	64	60	61	65	62	62,7	65	56	60	60,3	62	55	60	59,0	49	49	45	47,7					
8	19/10/2024	50	57	56	54,3	53	55	53	55,0	56	55	59	56,7	64	67	65	65,3	68	64	64	65,3	65	68	66	66,3	46	51	45	47,3					
9	20/10/2024																																	
10	21/10/2024	48	50	59	52,3	57	46	51	51,3	59	49	56	54,7	61	62	64	62,3	61	57	56	58	57	58	55	56,7	55	51	45	50,3					
11	22/10/2024	51	53	48	50,7	52	51	52	51,7	51	50	50	50,3	56	60	55	57,0	51	52	55	52,7	54	53	54	53,7	47	49	48	48,0					
12	23/10/2024	44	48	38	43,3	45	44	45	44,7	47	50	48	48,3	39	56	51	56,0	50	53	49	50,7	51	50	47	49,3	45	47	46	46,0					
13	24/10/2024	42	50	46	46,0	48	45	45	46,0	42	47	47	45,3	40	58	52	48,0	48	47	48	47,7	55	45	42	47,3	50	50	45	48,3					
14	25/10/2024	44	45	44	44,3	45	44	44	44,3	45	46	44	45	41	47	47	46,0	46	49	45	46,7	40	45	44	43,0	45	46	44	45,0					
15	26/10/2024	44	45	45	44,7	46	42	42	43,3	44	45	42	43,7	45	49	44	46,0	47	44	41	44	44	39	40	41,0	44	46	44	44,7					
16	27/10/2024																																	
17	28/10/2024	42	43	42	42,3	39	36	37	37,3	40	44	46	43,3	46	46	47	46,3	42	41	41	41,3	40	42	45	42,3	46	47	45	46,0					
18	29/10/2024	45	37	40	40,7	37	39	44	40	35	38	39	37,3	45	39	42	42,0	45	39	42	42	39	39	39	39,0	48	60	58	55,33					
19	30/10/2024	45	40	40	41,7	41	44	40	41,7	40	39	39	39,3	42	43	48	44,3	45	44	46	45	46	40	40	42	60	57	55	57,33					
20	31/10/2024	46	41	41	42,7	40	40	38	39,3	40	38	35	37,7	48	45	43	45,3	47	41	42	43,3	43	44	45	44	47	55	55	52,33					

OBSERVACIONES :
Humedad inicial en todas las pilas de los dos tratamientos: Capacidad de campo (Prueba del puño)
16/10 Tratamiento 1 pila No 3 se peresenta pico de temperatura que supera los 65° C: Se controla mediante la instalación en el centro de la pila de un tuvo de 2 pulgadas perfora
17/10 Tratamiento 2 pila No 2 se peresenta pico de temperatura que supera los 65° C: Se controla mediante la instalación en el centro de la pila de un tuvo de 2 pulgadas perfora
19/10 Tratamiento 2 pila No 2 se peresenta pico de temperatura que supera los 65° C:Se controla mediante la instalación en el centro de la pila de un tuvo de 2 pulgadas perfora
21/10 Se realiza volteo a todas las pilas
28/10 Se realiza volteo a todas las pilas, la temperatura desciende progresivamente
pH del biocarbón 8,5
Se mide pH el 15/10: Tratamiento 1 en todas las pilas 8,5 / Tratamiento 2 en todas las pilas 8,2
31/10 pH mantiene sus valores en los dos a tratamientos y el testigo

Mes		Noviembre				Año	2024																											
DÍA	FECHA	Tratamiento 1 (70/30)												Tratamiento 2 (80/20)												Testigo								
		Pila 1				Pila 2				Pila 3				Pila 1				Pila 2				Pila 3				Pila 1								
		° C	2°	T3 °	PROM	1°	2°	T3 °	PROM	1°	2°	T3 °	PROM	1°	2°	T3 °	PROM	1°	2°	T3 °	PROM	1°	2°	T3 °	PROM	1°	2°	T3 °	PROM					
1	1/11/2024	38	36	36	36,7	38	37	41	38,7	39	37	38	38,0	42	41	40	41,0	35	42	43	40,0	43	45	44	44,0	48	53	50	50,3					
2	2/11/2024	37	36	35	36,0	34	40	39	37,7	34	37	38	36,3	45	36	41	40,7	38	40	43	40,3	38	39	40	39,0	50	42	48	46,7					
3	3/11/2024																																	
4	4/11/2024	35	35	34	34,7	34	36	34	34,7	35	38	43	38,7	39	38	36	37,7	38	40	37	38,3	38	39	35	37,3	41	42	44	42,3					
5	5/11/2024	30	35	39	34,7	31	35	36	34,0	33	37	37	35,7	37	34	36	35,7	33	37	34	34,7	35	35	32	34,0	46	50	45	47,0					
6	6/11/2024	35	36	34	35,0	34	36	35	35,0	36	36	39	37,0	42	40	39	40,3	38	34	40	37,3	31	35	39	35,0	51	38	45	44,7					
7	7/11/2024	36	35	38	36,3	35	33	35	34,3	40	37	38	38,3	42	40	43	41,7	39	39	34	37,3	34	39	35	36,0	45	46	48	46,3					
8	8/11/2024	38	36	38	37,3	34	37	36	35,7	39	35	40	38,0	34	38	42	38,0	35	36	38	36,3	38	33	31	34,0	38	48	46	44,0					
9	9/11/2024	36	34	38	36,0	34	35	35	34,7	40	36	39	38,3	36	38	40	38,0	36	39	35	36,7	32	34	34	33,3	40	48	42	43,3					
10	10/11/2024				#####				#####				####				#####				####				####				#####					
11	11/11/2024	35	32	32	33,0	30	35	35	33,3	33	32	35	33,3	30	33	36	33,0	34	34	34	34,0	32	34	35	33,7	41	35	40	38,7					
12	12/11/2024	36	35	30	33,7	36	35	32	34,3	34	31	34	33,0	35	36	35	35,3	35	37	38	36,7	33	38	39	36,7	40	36	40	38,7					
13	13/11/2024	36	35	30	33,7	34	31	34	33,0	41	36	40	39,0	35	36	35	35,3	35	37	38	36,7	33	39	39	37,0	41	36	40	39,0					
14	14/11/2024	36	36	34	35,3	31	33	35	33,0	38	33	32	34,3	35	35	36	35,3	36	38	38	37,3	34	39	36	36,3	41	42	35	39,3					
15	15/11/2024	33	35	35	34,3	35	32	33	33,3	34	36	31	33,7	38	35	35	36,0	39	36	35	36,7	38	35	35	36,0	40	34	34	36,0					
16	16/11/2024	34	35	38	35,7	33	36	38	35,7	34	35	36	35,0	36	36	33	35,0	36	34	38	36,0	33	35	37	35,0	35	35	36	35,3					
17	17/11/2024				#####				#####				####				#####				####				####				#####					
18	18/11/2024	33	37	39	36,3	33	38	39	36,7	33	36	34	34,3	38	39	34	37,0	39	41	35	38,3	39	38	32	36,3	39	35	35	36,3					
19	19/11/2024				#####				#####				####				#####				####				####				#####					
20	20/11/2024	36	37	36	36,3	32	35	32	33,0	34	30	36	33,3	35	36	38	36,3	38	35	35	36,0	32	35	32	33,0	36	38	33	35,7					
21	21/11/2024	39	35	36	36,7	30	35	32	32,3	35	30	34	33,0	39	33	40	37,3	36	34	34	34,7	35	34	31	33,3	36	34	35	35,0					
22	22/11/2024	37	36	34	35,7	35	32	30	32,3	34	36	34	34,7	39	38	35	37,3	34	34	34	34,0	31	33	34	32,7	33	33	32	32,7					
23	23/11/2024	34	34	35	34,3	34	32	30	32,0	31	36	37	34,7	40	34	38	37,3	30	34	35	33,0	30	32	32	31,3	35	30	35	33,3					
24	24/11/2024				#####				#####				####				#####				####				####				#####					
25	25/11/2024	35	33	36	34,7	30	33	35	32,7	30	35	35	33,3	36	37	40	37,7	33	30	35	32,7	32	30	32	31,3	35	30	35	33,3					
26	26/11/2024	32	35	32	33,0	30	30	33	31,0	30	31	33	31,3	31	31	35	32,3	32	35	31	32,7	31	31	35	32,3	32	35	30	32,3					
27	27/11/2024	31	32	34	32,3	31	28	31	30,0	31	28	32	30,3	36	33	31	33,3	30	35	32	32,3	31	33	28	30,7	29	29	32	30,0					
28	28/11/2024	33	29	30	30,7	31	35	29	31,7	30	36	30	32,0	31	36	40	35,7	36	35	30	33,7	36	32	30	32,7	31	35	28	31,3					
29	29/11/2024	30	28	33	30,3	30	35	29	31,3	30	36	29	31,7	31	36	39	35,3	35	35	30	33,3	36	31	30	32,3	33	30	31	31,3					
30	30/11/2024	30	28	32	30,0	32	32	29	31,0	35	30	29	31,3	31	39	35	35,0	35	31	32	32,7	35	30	32	32,3	34	30	30	31,3					

OBSERVACIONES :

04/11/24 Se realiza volteo a todas las pilas

11/11/24 Se realiza volteo a todas las pilas

18/11/2024 Se realiza volteo a todas las pilas

25/11/2024 Se realiza volteo a todas las pilas

Mes		Diciembre				Año	2024																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
DÍA	FECHA	Tratamiento 1 (70/30)										Tratamiento 2 (80/20)														Testigo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		Pila 1				Pila 2				Pila 3				Pila 1				Pila 2				Pila 3				Pila 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		T	1°	CT	2°	C	T3 °	C	PROM	T	1°	C	T	2°	C	T3 °	C	PROM	T	1°	CT	2°	C	T3 °	C	PROM	T	1°	CT	2°	C	T3 °	C	PROM	T	1°	CT	2°	C	T3 °	C	PROM																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	1/12/2024						#####										#i DIV/0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								</

OBSERVACIONES :

02/12/24 Se realiza volteo a todas las pilas
10/12/24 Se realiza volteo a todas las pilas
17/12/2024 Se realiza volteo a todas las pilas
24/12/2024 Se realiza volteo a todas las pilas
30/12/2024 Se realiza volteo a todas las pilas