



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

COMPARACIÓN PROXIMAL DE DOS BIOCARBONES OBTENIDOS DE  
CÁSCARA DE CACAO Y ESTIÉRCOL BOVINO EN DIFERENTES  
CONDICIONES DE PIROLISIS

GAONA CHANALATA JOSE ROBERTO  
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

COMPARACIÓN PROXIMAL DE DOS BIOCARBONES  
OBTENIDOS DE CÁSCARA DE CACAO Y ESTIÉRCOL BOVINO  
EN DIFERENTES CONDICIONES DE PIROLISIS

GAONA CHANALATA JOSE ROBERTO  
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA  
2022



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN  
TRABAJO EXPERIMENTAL

COMPARACIÓN PROXIMAL DE DOS BIOCARBONES OBTENIDOS DE CÁSCARA  
DE CACAO Y ESTIÉRCOL BOVINO EN DIFERENTES CONDICIONES DE PIROLISIS

GAONA CHANALATA JOSE ROBERTO  
INGENIERO AGRÓNOMO

BARREZUETA UNDA SALOMON ALEJANDRO

MACHALA, 22 DE SEPTIEMBRE DE 2022

MACHALA  
2022

# COMPARACIÓN PROXIMAL DE DOS BIOCARBONES OBTENIDOS DE CÁSCARA DE CACAO Y ESTIÉRCOL BOVINO EN DIFERENTES CONDICIONES DE PIROLISIS

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

0%

INDICE DE SIMILITUD

%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20%

Excluir bibliografía

Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, GAONA CHANALATA JOSE ROBERTO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado COMPARACIÓN PROXIMAL DE DOS BIOCARBONES OBTENIDOS DE CÁSCARA DE CACAO Y ESTIÉRCOL BOVINO EN DIFERENTES CONDICIONES DE PIROLISIS, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 22 de septiembre de 2022

GAONA CHANALATA JOSE ROBERTO  
0704419126

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado principalmente a mi mama Blanca Esperanza Chanalata Olmedo y papa José Elogio Gaona Calderón primero por verme dado la vida, la educación, buenos valores y ética.

Mi mama fue el pilar fundamental en mi vida, quien me ha sabido aconsejar que me prepare, que sea alguien en la vida, me enseñó que todo lo puedo conseguir con esfuerzo y dedicación, gracias a Dios ya cerca de cumplir este sueño que lo empecé hace muchos años.

A mis hermanas María Jose Gaona Ch y Yadira Mirena Muñoz Ch quienes han estado en todo momento de mi vida, dando apoyo moral, deseándome todo lo mejor para mi futuro, me han llenado de mucha felicidad sus voces de aliento y darme a conocer que los sueños se cumplen en la vida.

Finalmente, a mis estimados amigos, compañeros Diego Castillo, Eduardo Velasco, Santiago Argudo y Ever Mena, quienes han llegado a mi vida Universitaria, son testigos de todo el proceso de mi carrera, hemos compartido muchas experiencias, han sabido ayudar en todo momento incondicionalmente hasta cumplir la meta.

Gaona Chanalata, José R.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi especial agradecimiento primeramente a Dios, todo poderoso, por darme la valentía, sabiduría para emprender mis estudios, me ha iluminado tanto que Dios sabe por todo lo que tuve que pasar para hoy llegar donde estoy.

A mi Noble Institución “Comisión de Transito del Ecuador” en especial a la Unidad de Rescate y Emergencias Médicas (UREM) a la cual pertenezco actualmente al servicio de la ciudadanía como rescatista.

A mis compañeros de trabajo Ab. Carlos Cevallos Guingla, Jefe Nacional de UREM, Tnlgo. Jose Navas Romero quien fue mi jefe encargado de la provincia de El Oro quien me ayudo para comenzar al retorno de mis estudios con el permiso respectivo, mi compañero y amigo de guardia. Tnlgo. Jorge Aguirre García quien siempre me ha sabido ayudar y ha estado conmigo en todo este proceso de mi trabajo de titulación.

Un agradecimiento especial a mi Excompañero Sr. Rescatista Frank Jiménez Herrera (+) quien fue un pilar grande al ayudarme con los días que tenía que salir a la Universidad se quedaba hasta que yo regresara.

A la familia Paz Espinoza por permitirme entrar a su finca para realizar la recolecta de biomasa y realizar los ensayos. Al Ing. Agr. Salomón Barrezueta Unda PhD quien en calidad de director de tesis me brindo sus conocimientos técnicos y científicos para la elaboración de mi trabajo de titulación.

A los docentes Dra. Sayda Herrera, Ing. Agr. Eduardo Luna, Mg. Ing. Agr. Marcos Ullauri miembros del tribunal, quienes me brindaron sus conocimientos y apoyo en la realización de este trabajo experimental.

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Agropecuarias que fueron testigos de todo mi proceso académico, en especial a la Abogada. María Auxiliadora Preciado (+) quien siempre estuvo apoyándome en todos los procesos legales cuando retome mis estudios.

Gaona Chanalata, José R.

## RESUMEN

### COMPARACIÓN PROXIMAL DE DOS BIOCARBONES OBTENIDOS DE CÁSCARA DE CACAO Y ESTIÉRCOL BOVINO EN DIFERENTES CONDICIONES DE PIROLISIS

**Autor:**

Jose Roberto Gaona Ch.

**Tutor:**

Salomón Barrezueta. PhD

El carbón vegetal o biocarbón se lo obtiene a partir del material residual de vegetales o animales. Esta investigación se centra en la obtención de dos biocarbones a partir de la cáscara de cacao y estiércol bovino para darle un efecto ambiental positivo a la agricultura sustentable, convirtiendo la materia residual en biocarbón mediante el proceso de pirolisis, cuya finalidad es implementarla como una enmienda orgánica para mejorar los suelos e incrementar la productividad y el secuestro del carbono. Este trabajo de investigación tiene como objetivo analizar las propiedades físicas y químicas de dos biocarbones obtenidos en un reactor pirolítico artesanal a partir de cacao y estiércol de bovino a diferentes temperaturas y tiempo de incineración. Se determinó la cantidad de biocarbón, rendimiento de biocarbón, el pH, Alpha pH, conductividad eléctrica (CE), hidrofobicidad, el porcentaje de humedad, ceniza, carbono fijo (CF), grupos funcionales por espectroscopia de infrarrojo (IR) por transformadas de Fourier (FTIR) y la determinación de nitrógeno para los biocarbón de cáscara de cacao y estiércol bovino, las cuales fueron medidos cinco veces en el laboratorio de la Utmach, los ensayos realizados para la obtención de biocarbón fueron en la ciudad de Santa Rosa, provincia de El Oro. Con la ayuda de un reactor de pirolisis previamente construido artesanalmente, para la conformación de los ensayos se trabajó con dos distintas variables independientes las cuales fueron: el rango de temperatura y tiempo de incineración que se conformó de tres ensayos para cada biomasa. Una vez obtenidos los resultados fueron ingresados en una hoja de Excel para ser tabulados e ingresados en el Software estadístico SPSS versión 22 para los respectivos análisis estadísticos. Los resultados reflejados en esta investigación en el rendimiento y el total de biocarbón los promedios más altos del biocarbón de cacao se obtuvieron en ECC3, con un rendimiento de 35,56%, y el peso total de 1,07 kg, para el biocarbón de estiércol bovino el valor más alto de rendimiento y el total de biocarbón corresponden al ensayo EEB2 con 71,11% y 2,13 kg; los valores de pH de todos los



ensayos realizados fueron altamente alcalinos con rangos de 8,23 – 10,04 y CE bajas con rangos de 0,57 – 1,27 dS/cm. La prueba de hidrofobicidad en cáscara de cacao en 300 °C es favorable en su permeabilidad del biocarbón y en estiércol bovino obtenido a temperatura de 200 °C demostró que el agua no penetra con facilidad en la capa superficial que se forma en el biocarbón. El mayor contenido de porcentaje de humedad se obtuvo en cáscara de cacao a 300 °C con un valor promedio de 10,28, siendo así inversamente proporcional al estiércol bovino con un valor promedio de 4,68. Se obtuvo el mayor porcentaje de ceniza en el estiércol bovino a una temperatura de 300 °C. Mientras que el carbono fijo obtuvo en cáscara de cacao el mayor valor a temperatura de 200 °C, resultado que se corroboró con el análisis de Infrarrojo donde las muestras de cacao mostraron grupos funcionales carboxílicos. Los niveles con mayor contenido de nitrógeno fue el de estiércol bovino con un valor de 4,38% a temperatura de 300 °C.

**Palabras claves:** biocarbón, carboxílicos, hidrofobicidad, infrarrojo.

## **ABSTRACT**

### **PROXIMATE COMPARISON OF TWO BIOCHARS OBTAINED FROM COCOA HUSKS AND BOVINE MANURE UNDER DIFFERENT PYROLYSIS CONDITIONS**

**Author:**

José Roberto Gaona Ch.

**Tutor:**

Salomón Barrezueta. PhD

Charcoal or biochar is obtained from vegetable or animal waste material. This research focuses on obtaining two biochars from cocoa husks and bovine manure to give a positive environmental effect to sustainable agriculture, converting the residual material into biochar through the pyrolysis process, whose purpose is to implement it as an organic amendment to improve soils and increase productivity and carbon sequestration. The objective of this research work is to analyze the physical and chemical properties of two biochar obtained in an artisanal pyrolytic reactor from cocoa and bovine manure at different temperatures and incineration time. The amount of biochar, biochar yield, pH, Alpha pH, electrical conductivity (EC), hydrophobicity, percentage of moisture, ash, fixed carbon (FC) were determined, functional groups by infrared spectroscopy (IR) by Fourier transforms (FTIR) and the determination of nitrogen for the biochar of cocoa husk and bovine manure, which were measured five times in the laboratory of the Utmach, the tests carried out to obtain biochar were in the city of Santa Rosa, province of El Oro. With the help of a pyrolysis reactor previously built by hand, for the conformation of the tests we worked with two different independent variables which were: the range of temperature and incineration time, which consisted of three tests for each biomass. Once the results were obtained, they were entered in an Excel sheet to be tabulated and entered in the SPSS version 22 statistical software for the respective statistical analysis. The results reflected in this research in the yield and total biochar the highest averages of cocoa biochar were obtained in ECC3, with a yield of 35.56%, and total weight of 1.07 kg, for cattle manure biochar the highest value of yield and total biochar corresponded to the EEB2 trial with 71.11% and 2.13 kg; The pH values of all the tests carried out were highly alkaline with ranges of 8.23 - 10.04 and low EC with ranges of 0.57 - 1.27 dS/cm. The hydrophobicity

test on cocoa husk at 300 °C is favorable in its permeability of the biochar and on bovine manure obtained at a temperature of 200 °C showed that water does not easily penetrate the surface layer formed on the biochar. The highest percentage of moisture content was obtained in cocoa husk at 300 °C with an average value of 10.28, being thus inversely proportional to the bovine manure with an average value of 4.68. The highest percentage of ash was obtained in bovine manure at a temperature of 300 °C. While the fixed carbon obtained in cocoa husk had the highest value at a temperature of 200 °C, a result that was corroborated by infrared analysis where the cocoa samples showed carboxylic functional groups. The levels with the highest nitrogen content was that of bovine manure with a value of 4.38% at a temperature of 300 °C.

**Keywords:** biochar, carboxylic, hydrophobicity, infrared

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
I. MARCO TEÓRICO.....	13
1.1 Biocarbón.....	13
1.2 Obtención de biocarbón por pirólisis.....	13
1.3 Tipos de pirólisis.....	14
1.4 Composición del Biocarbón.....	14
1.5 Propiedades del biocarbón obtenido de la mazorca de cacao.....	14
1.6 Propiedades del biocarbón obtenido del estiércol bovino.....	15
1.7 Impacto del biocarbón en los suelos agrícolas.....	15
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
2.1 Ubicación de los ensayos.....	16
2.2 Obtención de la cáscara de cacao (genotipo CCN 51).....	17
2.3 Obtención de estiércol bovino.....	17
2.4 Obtención de Biocarbón.....	17
2.5 Diseño de los ensayos en campo.....	18
2.6 Análisis Proximal.....	20
2.6.1 Determinación de pH y Conductividad Eléctrica (CE).....	20
2.6.2 Cálculo del Alpha pH.....	20
2.6.3 Prueba de Hidrofobicidad.....	21
2.6.4 Cálculo de la Humedad.....	21
2.6.5 Cálculo de Ceniza.....	22
2.6.6 Contenido de Carbono fijo.....	22
2.7 Determinación de grupos funcionales por espectroscopia de infrarrojo (IR) por transformadas de Fourier (FTIR).....	23
2.8 Determinación de nitrógeno.....	23
2.9 Proceso estadístico.....	23

III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
3.1	Obtención de Biocarbón .....	24
3.2	Características químicas del biocarbón obtenido de cáscara de cacao y estiércol bovino .....	25
3.3	Hidrofobicidad .....	27
3.4	Porcentaje de Humedad .....	28
3.5	Porcentaje de cenizas .....	29
3.7	Análisis IF por FTIR. ....	32
3.8	Determinación de nitrógeno obtenido del biocarbón.....	33
IV.	CONCLUSIONES .....	34
V.	RECOMENDACIONES .....	35
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
VII.	ANEXOS .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proceso de pirólisis para obtención de biocarbón. ....	13
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica de los ensayos. ....	16
<b>Figura 3.</b> Secado de cáscara de cacao. ....	17
<b>Figura 4.</b> Secado de estiércol bovino. ....	17
<b>Figura 5.</b> Obtención del biocarbón: a) Seguros metálicos; b) Interior del reactor; c) Tapa metálica. ....	18
<b>Figura 6.</b> Producción de biocarbón: a) Ingreso de biomasa en el reactor; b) Biocarbón de cáscara de cacao y estiércol bovino; c) Triturado del biocarbón. ....	19
<b>Figura 7.</b> Prueba de hidrofobicidad: a) Test de penetración de la gota; b) Tres gotas en ECC; c) Tres gotas en EEB. ....	21
<b>Figura 8.</b> Gráfica de cajas y bigotes para el biocarbón obtenido en el ECC: a) Rendimiento (%); b) Total de biocarbón (kg). ....	24
<b>Figura 9.</b> Gráfica de cajas y bigotes para el biocarbón obtenido en el EEB: a) Rendimiento (%); b) Total de biocarbón (kg). ....	24
<b>Figura 10.</b> Hidrofobicidad por ensayos: a) Cáscara de cacao; b) Estiércol bovino. ....	28
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de humedad por ensayos: a) Cáscara de cacao; b) Estiércol bovino. ....	29
<b>Figura 12.</b> Porcentaje de ceniza por ensayos: a) Cáscara de cacao; b) Estiércol bovino. ....	30
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de carbono fijo por ensayos: a) Cáscara de cacao; b) Estiércol bovino. ....	31
<b>Figura 14.</b> Espectros infrarrojos obtenidos por FTIR: a) Biocarbón de cáscara de cacao; b) Biocarbón de estiércol bovino. ....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Diseño de los ensayos para obtener biocarbón, donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino .....	19
<b>Tabla 2.</b> Análisis de varianza ( $p$ -valor $\leq 0,05$ ) de biocarbón, donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.....	25
<b>Tabla 3.</b> Valores estimados de CE, pH medida en agua destilada y en KCL, Alpha pH de biocarbón, donde CC: Cáscara de cacao; EB: Estiércol bovino y E: Ensayo .....	26
<b>Tabla 4.</b> Estadística descriptiva y prueba de HSD de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) de Hidrofobicidad en donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.....	27
<b>Tabla 5.</b> Estadística descriptiva y prueba de HSD de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) del porcentaje de Humedad en donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino. ....	28
<b>Tabla 6.</b> Estadística descriptiva y prueba de HSD de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) del porcentaje de Ceniza en donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.	30
<b>Tabla 7.</b> Estadística descriptiva y prueba de HSD de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) del carbono fijo en donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.....	31
<b>Tabla 8.</b> Principales grupos funcionales por Longitud de Longitud.....	32
<b>Tabla 9.</b> Resultado del análisis del total de nitrógeno del biocarbón obtenido de la cáscara de cacao y el estiércol de bovino. ....	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Muestra de biocarbón en agua (1:2.5 H <sub>2</sub> O) previo a la agitación para medir pH y CE. ....	40
<b>Anexo 2.</b> Determinación de hidrofobicidad en el laboratorio. ....	40
<b>Anexo 3.</b> Determinación de humedad. ....	40
<b>Anexo 4.</b> Ceniza sacada de la mufla.....	41
<b>Anexo 5.</b> Peso de los biocarbones. ....	41
<b>Anexo 6.</b> Control del tiempo de Pirólisis. ....	42
<b>Anexo 7.</b> Colocación de Biomasa seca a Pirolizar. ....	42
<b>Anexo 8.</b> Obtención de Biocarbón. ....	42



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad muchos suelos agrícolas tienen un déficit de nutrientes provocado por la sobreexplotación agrícola de este recurso natural. Una causa por la que se produce este déficit es por la aplicación excesiva de fertilizante y pesticidas químicos (Escalante Rebolledo et al., 2016). Otra forma de la pérdida de nutrientes del suelo se produce en el proceso de cosecha, que en algunos casos no se recuperan, sea porque las condiciones económicas del agricultor no le permiten adquirir los fertilizantes, o porque el suelo no está en las condiciones adecuadas para que los nutrientes estén disponibles para las plantas. Estos factores conducen a bajos rendimientos.

Una alternativa a esta problemática es la utilización de abonos orgánicos como el compost (humus de lombrices) o el biocarbón (biochar). Este último, es el resultado de la conversión termoquímica de la biomasa vegetal o animal que tiene lugar a temperaturas superiores a los 300 °C en ausencia de oxígeno, proceso que se conoce como pirólisis. El uso de los biocarbones tiene el potencial para compensar la pérdida de fertilidad y de otras propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Además, la mayoría de los biocarbones tienen un pH extremadamente alcalino (> 9,0), por tanto, se puede utilizar para el encalado de los suelos cuando se mezclan con otros abonos u otros materiales como el yeso o la cal.

Pero los contenidos totales de varios nutrientes en el biocarbón no precisamente son reflejo de la extracción de nutrientes que se devuelven al suelo. Por ejemplo, varios autores sugieren que los elevados valores de carbono y en los biocarbones puede conducir a la inmovilización de N en el suelo (González-Marquetti et al., 2020). Pero, así mismo, en los últimos años se ha publicado investigación con resultados positivos de la aplicación de biocarbón al suelo, que ha permitido mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que conduce a un aumento de los rendimientos de los cultivos (Pérez-Cabrera et al., 2021; Barrezueta Unda et al., 2022)

En este contexto, las características del biocarbón permanecen influenciadas por las condiciones de pirólisis como: la temperatura y tiempo de procedimiento, rapidez de calentamiento y el diseño del horno. Otro factor muy importante para la obtención de biocarbón son las propiedades de la materia prima como los niveles de hemicelulosa, celulosa, ligninas, grupos funcionales carboxílicos e hidrocarburos. Un biocarbón con una alta superficie específica e hidrocarburos alifáticos pueden ocasionar a corto plazo

problemas de compactación del suelo y biosorción de metales pesados que se acumularán en los primeros centímetros de suelo, esto probablemente ocasione una toxicidad en las plantas y acumulación del suministro hídrico. Ante esta situación, es importante caracterizar a los biocarbones para realizar una correcta recomendación del tiempo y temperatura de la pirólisis.

En este marco la finalidad de la investigación se desarrolló bajo los siguientes objetivos.

**Objetivo general:**

Analizar las propiedades físicas y químicas de dos biocarbones obtenidos en un reactor pirolítico artesanal a partir de cacao y estiércol de bovino a diferentes temperaturas y tiempo de incineración.

**Objetivos específicos:**

1. Obtener biocarbones a partir de la biomasa de mazorcas de cacao y estiércol de bovino, en temperatura de 200°C, 250°C y 300°C, considerando el tiempo de residencia constante de 60 minutos y 30 minutos, respectivamente.
2. Determinar las propiedades físicas y químicas a nivel proximal de los dos biocarbones obtenidos.
3. Comparar las propiedades físicas y químicas de dos biocarbones.

## I. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Biocarbón

Una alternativa de abono orgánico que se utiliza como insumo para enmendar suelos es el biocarbón o biochar (Islam et al., 2019). Este abono es un subproducto que se obtiene a partir de la biomasa vegetal o animal mediante el proceso de pirólisis (Iglesias-Abad et al., 2020). A diferencia de otros abonos como el compost o el humus, el carbono es de tipo lábil, mientras que en el biocarbón es una forma recalcitrante de carbono (Aggangan et al., 2019).

Por otra parte, el biocarbón permanece en el suelo a largo plazo retrasando su regreso a la atmósfera como CO<sub>2</sub>, situación que ayuda a mitigar el calentamiento global. Otra ventaja es que la materia prima para su producción proviene de desechos orgánicos, lo que frecuentemente causa problemas de contaminación ambiental (Sial et al., 2019).

### 1.2 Obtención de biocarbón por pirólisis

Como se indicó el carbón se obtiene por pirólisis, proceso termoquímico que se realiza en ausencia de oxígeno dentro de un reactor (Klug, 2012). Este proceso de conversión de biomasa en carbón vegetal se produce en un reactor a temperaturas superiores a los 200 °C (Figura 1). Los principales productos obtenidos de la biomasa en la pirólisis se conocen como volátiles condensables y no condensables y carbón vegetal. Los volátiles condensables se clasifican generalmente como líquidos (bioaceites, alquitrán), mientras que los volátiles no condensables son gases, principalmente monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrógeno (H) e hidrocarburos (Chi et al., 2021).



**Figura 1.** Proceso de pirólisis para obtención de biocarbón.

### **1.3 Tipos de pirólisis**

En función del tiempo y temperatura de incineración se clasifica la pirólisis en lenta y rápida. Gathorne-Hardy et al., (2009), indican que una pirólisis lenta se produce por temperaturas bajas y largos tiempos de la biomasa dentro del reactor. Los tiempos de calentamiento son alrededor de 0.1 a 2 °C por segundo y hasta alcanzar temperaturas cerca de los 500 °C (Tejada-Tovar et al., 2021). En el caso de la pirólisis rápida las temperaturas son mayores a 550 °C con un registro menor de residencia de la biomasa en el reactor de la pirólisis rápida, principalmente se obtienen líquidos, como los bioaceites y gases ricos en etileno que serían utilizados para crear alcoholes o gasolina (Tejada-Tovar et al., 2021).

### **1.4 Composición del Biocarbón**

La estructura de los biocarbones están relacionadas a diversos factores como la composición de las materias primas, es decir, el contenido de lignina y cenizas, y las condiciones del proceso, como la temperatura, la presión, el tiempo de secado, la velocidad de calentamiento, el contenido de tamaño de partículas y la integración de calor (Andres et al., 2020; Barrezueta Unda & Sisalima Morales, 2021).

La composición, calidad y propiedades del biocarbón, como la densidad, la distribución del tamaño de las partículas, el contenido de cenizas, el contenido de humedad y el pH, dependen del tipo, la naturaleza y el origen de las materias primas, así como de las condiciones de reacción de biocarbón, pirólisis. Por ejemplo, se informa que el biocarbón hecho de madera es espeso y muy resistente con un contenido de carbono de hasta el 80% (Kazemi Shariat Panahi et al., 2020).

### **1.5 Propiedades del biocarbón obtenido de la mazorca de cacao**

La producción de biocarbón desde cáscara de cacao tiene más grande beneficio en rendimientos y características, gracias a su elevado contenido de lignina, además tiene un efecto ambiental positivo debido a que representa un modelo de agricultura sustentable, pues se aprovecha la biomasa residual convirtiéndola por medio de un proceso de pirólisis, en carbón vegetal estable y enormemente poroso, cuyo fin podría ser su implementación como enmienda orgánica para mejorar las características fisicoquímicas

del suelo, incrementar la productividad y para fijar el carbono (la Serna Cubas & Stefany Alexandra, 2019)

### **1.6 Propiedades del biocarbón obtenido del estiércol bovino**

Es un fertilizante orgánico que, aplicado en suelos agrícolas, no solamente tiene efectos positivos sobre el rendimiento de los cultivos, sino que, además, involucra una importante reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> comparado a las aplicaciones directas al suelo de los residuos del ganado (Zheng et al., 2021).

Aplicar biocarbón de estiércol podría ser una alternativa para compensar la pérdida de fertilidad y la pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos como es caso del crecimiento de microorganismos y el aumento de la capacidad de intercambio catiónico (Trujillo et al., 2019).

### **1.7 Impacto del biocarbón en los suelos agrícolas**

Como se indicó una de las estrategias para la recuperación de los suelos es el uso de los biocarbones (Dewi Sasmita et al., 2017; Moreno-Riascos & Ghneim-Herrera, 2020; Puentes Escobar & Rodríguez Carlosama, 2021). Pero su efecto tiene la posibilidad de variar en funcionalidad de las propiedades intrínsecas del biocarbón, que paralelamente están sujetas a las características del material inicial y de las condiciones de pirólisis (Olmo Prieto, 2016). Esto explica que las respuestas de los cultivos en suelos donde se aplicaron dosis de biocarbón sean bastante heterogéneas (Albuquerque Méndez, 2016). Pero en general, la mayor parte de los estudios indican que tiene un efecto efectivo sobre las propiedades de suelo en especial en el pH y en el incremento del carbono orgánico (Albuquerque Méndez, 2016; Ramtahal et al., 2019). Un beneficio adicional es que la materia prima para su producción procede de residuos orgánicos, que comúnmente ocasionan inconvenientes de contaminación ambiental por no ser gestionado de la forma correcta en su estado de descomposición (Escalante Rebolledo et al., 2016).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Ubicación de los ensayos

La investigación fue llevada a cabo en una finca del cantón Santa Rosa, provincia de El Oro, Ecuador, ubicada en las coordenadas:  $79^{\circ}54'59.5573''$  O y  $3^{\circ}27'40.0270''$  S a 10 m.s.n.m (Figura 2).

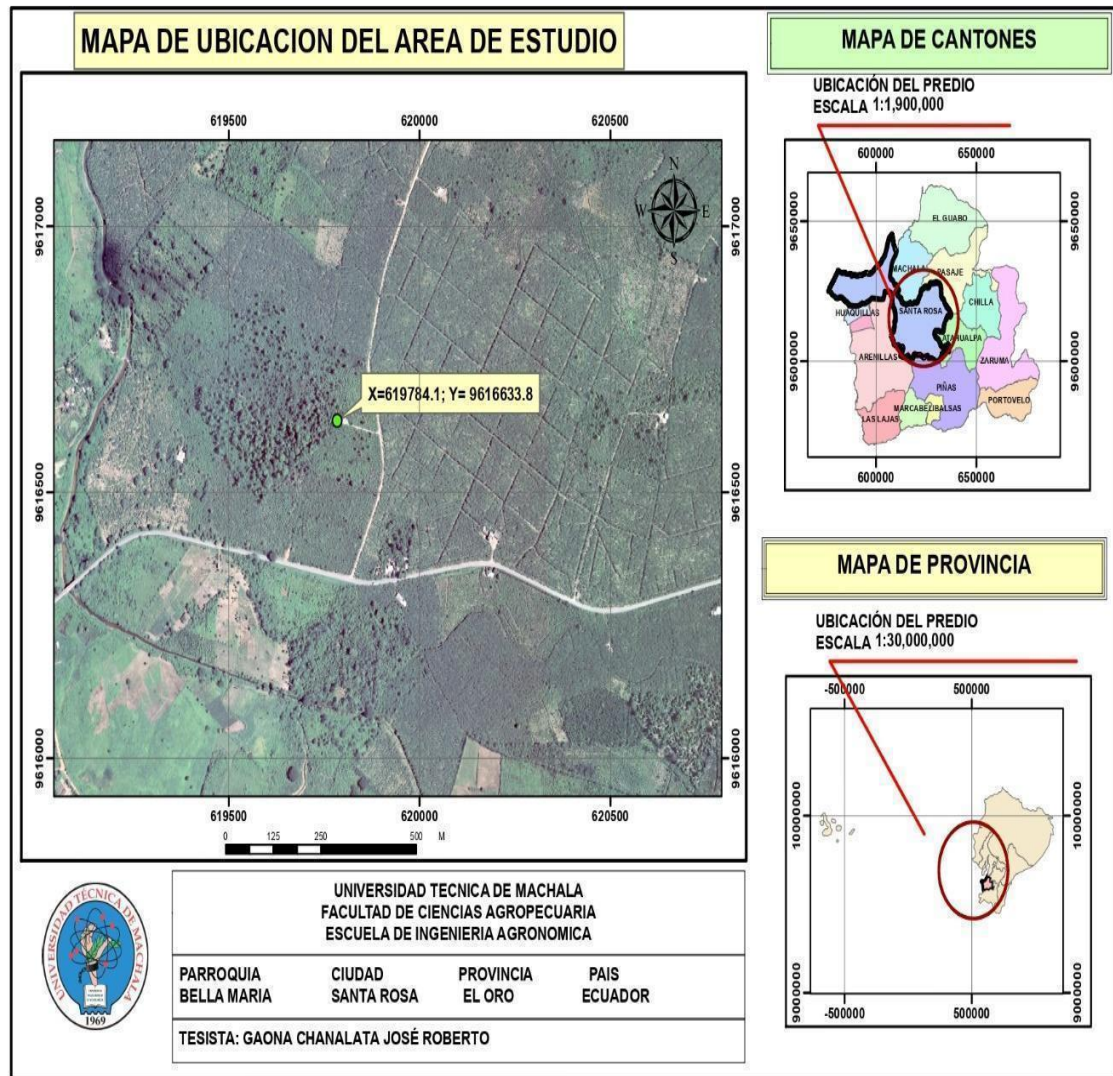


Figura 2. Ubicación geográfica de los ensayos.

## **2.2 Obtención de la cáscara de cacao (genotipo CCN 51)**

Esta biomasa se recolectó de forma manual, obteniendo aproximadamente 100 kg de cáscara de la mazorca de cacao, después de varios días de cosechada. La biomasa recolectada fue secada al aire libre por 12 días, para que pierda toda su humedad en una terraza de concreto. Obteniendo materia seca de 28,5 kg (Figura 3).



**Figura 3.** Secado de cáscara de cacao.

## **2.3 Obtención de estiércol bovino**

La segunda biomasa recolectada fue el estiércol de bovinos. El estiércol se obtuvo de un establo y con la ayuda de una pala, se recolectó aproximadamente 150 kg de biomasa fresca. La biomasa recolectada tuvo el mismo proceso que el secado del cacao, solo para ayudar al secado se removía cada dos días. Obteniendo materia seca de 75 kg. (Figura 4).



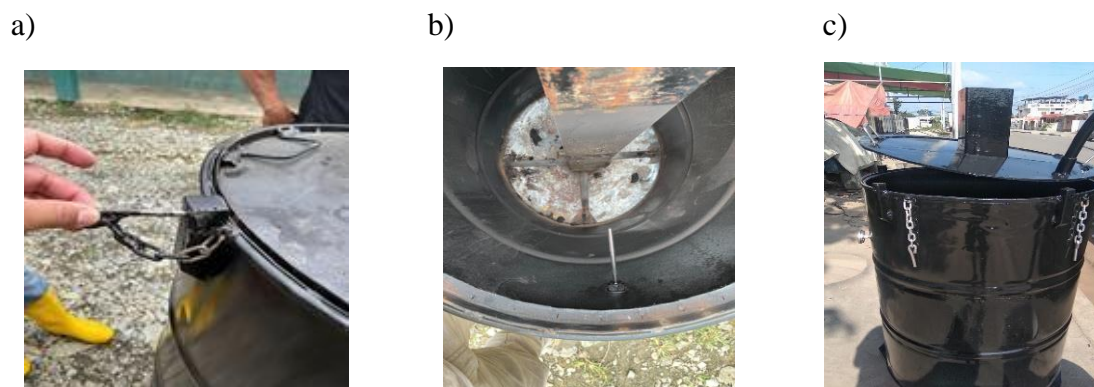
**Figura 4.** Secado de estiércol bovino.

## **2.4 Obtención de Biocarbón**

Para obtener el biocarbón se utilizó el diseño de reactor de doble fondo Fuentes Hernández & Recio Recio, (2005) y Marín-Armijos et al. (2018), al cual se realizaron modificaciones. El reactor se diseñó de la siguiente forma: cuerpo cilíndrico, fondo

cónico y tapa elíptica, con una altura de 0,90 m de altura y un diámetro de 0,58 m con su respectiva tapa metálica y seguros.

Reactor en su interior se dividió en dos zonas: 1) la zona de combustión que inicia con la conducción del calor desde la base del tanque metálico donde se genera la energía calórica, que luego es transportado por un tubo cuadrado metálico que cumple la función de chimenea y se ubicada en el centro del tanque, implemento que sobrepasa la tapa del tanque y tiene una altura total de 1,12 m; 2) la zona de pirólisis, que comprende el ingreso del calor al interior del tanque por varias perforaciones de media pulgada que se ubican en el tubo de metal antes de sobrepasar la tapa del tanque, la altura total de esta zona es de 0,64 m.



**Figura 5.** Obtención del biocarbón: a) Seguros metálicos; b) Interior del reactor; c) Tapa metálica.

## 2.5 Diseño de los ensayos en campo

Para los diferentes ensayos se utilizó la materia prima (biomasa residual) de cáscara de cacao y estiércol bovino, recolectada de granjas aledañas al sitio donde se pirolizó la biomasa. La cantidad de cáscara de cacao (CC) fue de 10 sacos de 10 kg y para el estiércol de bovino (EB) 6 sacos de 25 kg, biomásas que fueron secados al aire libre por 12 días. A continuación, las biomásas se trituraron y se colocaron en sacos para luego ser trasladada al sitio delimitado para el ensayo y proceder a obtener el biocarbón.

El proceso inició, colocando 3 kg de biomasa en el interior del reactor (Figura 6a). El combustible para generar el calor fue un cilindro de gas doméstico, con el cual se regula la temperatura de pirólisis que fueron de 200 °C, por el lapso de tiempo de 60 min y de 250°C y 300°C por 30 min Tabla 1.



**Tabla 1.** Diseño de los ensayos para obtener biocarbón, donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino

Ensayos	Temperatura(°C)	Tiempo(min)
ECC1	200	60
ECC2	250	30
ECC3	300	30
EEB1	200	60
EEB2	250	30
EEB3	300	30

Una vez que se llegó al tiempo establecido se colocó el reactor a un costado para así poder enfriarlo con agua por el lapso de unos 45 min. Una vez frío, se procedió a sacar la biomasa pirolizada, se la colocó sobre una plancha de zinc para que se enfríe (Figura 6b). Luego se constató el peso final y concluir el proceso con el triturado en un molino artesanal y el respectivo tamizado con una malla de 2 mm (Figura 6c).

a)



b)



c)



**Figura 6.** Producción de biocarbón: a) Ingreso de biomasa en el reactor; b) Biocarbón de cáscara de cacao y estiércol bovino; c) Triturado del biocarbón.

## 2.6 Análisis Proximal

El análisis proximal se ha usado para caracterizar y tener una mejor calidad del carbón combustible vegetal, que se derivó de la industria del acero y la industria química, por lo cual en los últimos años se ha usado para caracterizar el biocarbón, aunque hay diferentes autores que han usado esta metodología, no hay estándares químicos fijos para caracterizarlo e inclusive fue modificada (Martínez, 2015). En esta investigación se tomó varias muestras por ensayo para luego ser llevados a laboratorio y poder determinar: cantidad de biocarbón medido en kilogramos en una balanza, el rendimiento de biocarbón en porcentaje (Ecuación 1). El pH y CE (1:2.5 H<sub>2</sub>O), alpha pH, test de hidrofobicidad con agua desionizada (0,05~ mL), humedad, ceniza y carbono fijo. Todas las variables fueron medidas cinco veces.

$$R(\%): \frac{MBO}{MES} * 100 \quad (1)$$

### Donde:

R: Rendimiento expresado en porcentaje

MBO: Masa de biocarbón obtenido (kg)

MES: Masa inicial en estado seco (kg)

### 2.6.1 Determinación de pH y Conductividad Eléctrica (CE)

Para las mediciones de valores de pH tanto con KCl y H<sub>2</sub>O, los biocarbones se pesaron a  $1,0 \pm 0,01$  gr directamente en vasos de precipitación de 100 mL. Los vasos se llenaron con 20 mL de KCl 1M y H<sub>2</sub>O preparado con agua desionizada y agitaron en una mesa de agitación orbital durante 90 min. Continuamente con una barra de agitación mientras se medía el pH y la conductividad eléctrica (CE) con un potenciómetro digital portátil (ORAPXI, China).

### 2.6.2 Cálculo del Alpha pH

Se realizó para poder determinar la carga líquida, es decir, si es electronegativo u electropositivo, entre la diferencia de los resultados del pH con KCl y pH con H<sub>2</sub>O (Ecuación 2).

$$\alpha pH = pH \text{ KCl} - pH \text{ H}_2\text{O} \quad (2)$$

### Donde:

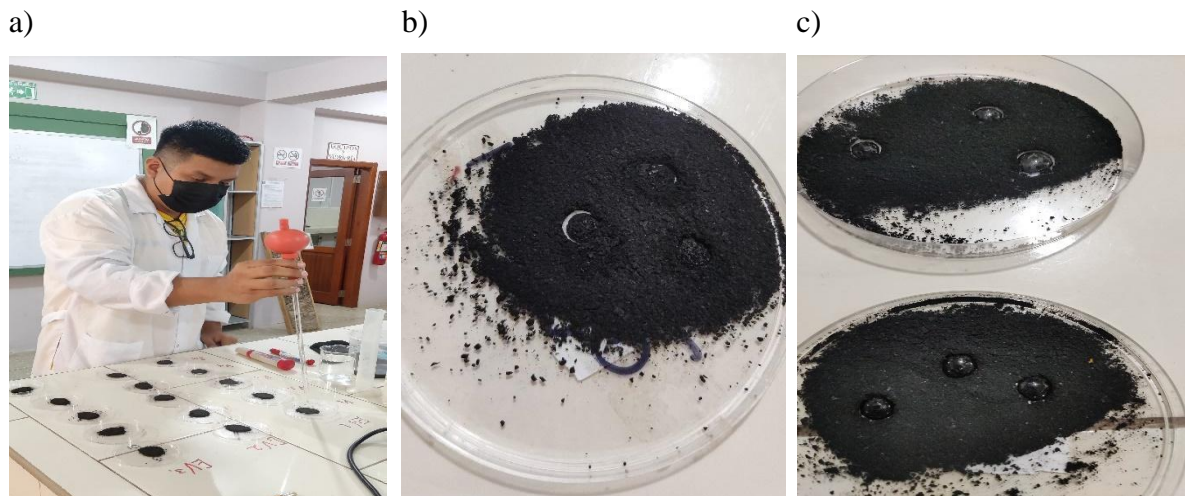
αH: Alpha de Potencial de Hidrogeno

KCL: Cloruro de potasio

H<sub>2</sub>O: Agua destilada

### 2.6.3 Prueba de Hidrofobicidad

Se obtuvo mediante el test de penetración de gota. Se utilizó la prueba del tiempo de penetración de gota de agua (WDPT) para medir la persistencia de la hidrofobicidad (Figura 7a). Tres gotas de agua desionizada (0,05 ~ mL) se colocaron en la superficie de ECC (Figura 7b) y EEB (Figura 7c) y el tiempo requerido para su penetración completa fue medido. Los tiempos de rotura se clasificaron en función de los intervalos definidos por Bisdom et al. (1993): valores de WDPT ≤ 5 s indicarían biocarbones humectables y WDPT > 5 s condiciones hidrofóbicas.



**Figura 7.** Prueba de hidrofobicidad: a) Test de penetración de la gota; b) Tres gotas en ECC; c) Tres gotas en EEB.

### 2.6.4 Cálculo de la Humedad

Para la determinación de humedad se colocó 20 gr de biocarbón de cada ensayo en una funda de plástico amarilla de alta densidad, se deja abierta por 24 horas al ambiente, luego se cierra y se coloca en refrigeración por 24 horas, luego se vuelve a pesar y se coloca en una estufa por 24 horas a 110°C. Se saca la muestra y se registra el peso por diferencia de peso se obtiene el porcentaje de humedad (Ecuación 3).

$$H(\%): \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad (3)$$

**Donde:**

H: Humedad representado en porcentaje

Pi: Peso Inicial (gr)

Pf: Peso Final (gr)

**2.6.5 Cálculo de Ceniza**

Para realizar la cantidad de ceniza se pesó 10 gr de biocarbón de cada ensayo en crisoles, los cuales fueron pesados en una balanza analítica electrónica para posterior ser ingresadas en un horno mufla y calentar por 1 hora a 700°C. Una vez pasado el tiempo se retiran los crisoles y se lo colocó en un desecador por el lapso de 30 min para luego ser pesados en la balanza analítica electrónica y poder calcular el porcentaje de ceniza (Ecuación 4).

$$\text{Ce (\%)} = \frac{\text{PCC} - \text{PCV}}{\text{PMB}} * 100 \quad (4)$$

**Donde:**

Ce: Ceniza representado en porcentaje

PCC: Peso de crisol con ceniza(gr)

PCV: Peso de crisol vacío (gr)

PMB: Peso de muestra de biocarbón (gr)

**2.6.6 Contenido de Carbono fijo**

El contenido de Carbono Fijo (CF) se determinó restando a 100 la suma de los porcentajes de la humedad, las cenizas y rendimiento del biocarbón (Ecuación 5).

$$\text{CF (\%)} = 100 - (\text{Ce} + \text{H} + \text{R}) \quad (5)$$

**Donde:**

CF: Carbono Fijo representado en porcentaje

Ce: Ceniza (%)

H: Humedad (%)

R: Rendimiento (%)

## **2.7 Determinación de grupos funcionales por espectroscopia de infrarrojo (IR) por transformadas de Fourier (FTIR)**

La espectroscopia IR es el método por el cual se estudia la absorción o emisión de energía radiante originada por la interacción entre la radiación electromagnética y el material en estudio. La IR se basa en que las moléculas tienen la posibilidad de rotar y vibrar a distintas frecuencias (modos normales vibracionales) o sea que, una molécula puede absorber la energía de fotones en el rango energético de IR en el caso en que exista una diferencia en el momento bipolar de la molécula mientras ocurre un movimiento vibracional rotacional y cuando la frecuencia asociada con la radiación resuena con el movimiento vibracional. Los componentes de los enlaces químicos tienen movimientos vibracionales con frecuencias naturales dentro del rango de frecuencias del infrarrojo que comprende desde  $250\text{ cm}^{-1}$  a  $4500\text{ cm}^{-1}$  (número de ondas).

En la caracterización de los biocarbones obtenidos, se utilizó un equipo ATR de diamante, para obtener los espectros IR por transformación Fourier (FTIR). Las muestras de biocarbón se analizaron de forma directa entre la región de  $4500\text{ cm}^{-1}$  -  $450\text{ cm}^{-1}$ , con 12 scans por espectro y resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$ . Los datos de los espectros IR fueron exportados en formato texto y se analizaron utilizando Originpro 6.

## **2.8 Determinación de nitrógeno**

El análisis del nitrógeno de los biocarbones obtenidos, se realizó en el laboratorio privado AGRORUM S.A. Valores determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

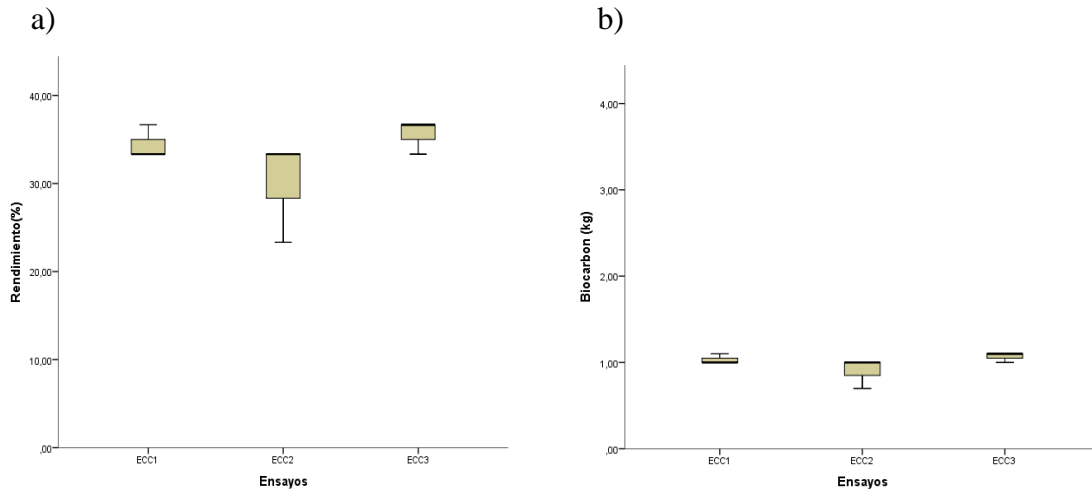
## **2.9 Proceso estadístico**

Los valores obtenidos de cada ensayo con diferentes biocarbón fueron ingresados en una hoja de Excel para ser tabulados e ingresados en el Software estadístico SPSS versión 22 para su análisis estadístico descriptivo (mínimo, media, máximo y desviación estándar). También se utilizó ANOVA de una vía y comparación de medias mediante la prueba Tukey al 95% de confiabilidad ( $\alpha = 0,05$ ) y poder determinar las diferencias estadísticas entre los ensayos que se presentan con tablas y figuras. Los valores de contenido de nitrógeno y grupos funcionales fueron llevados a laboratorios privados.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

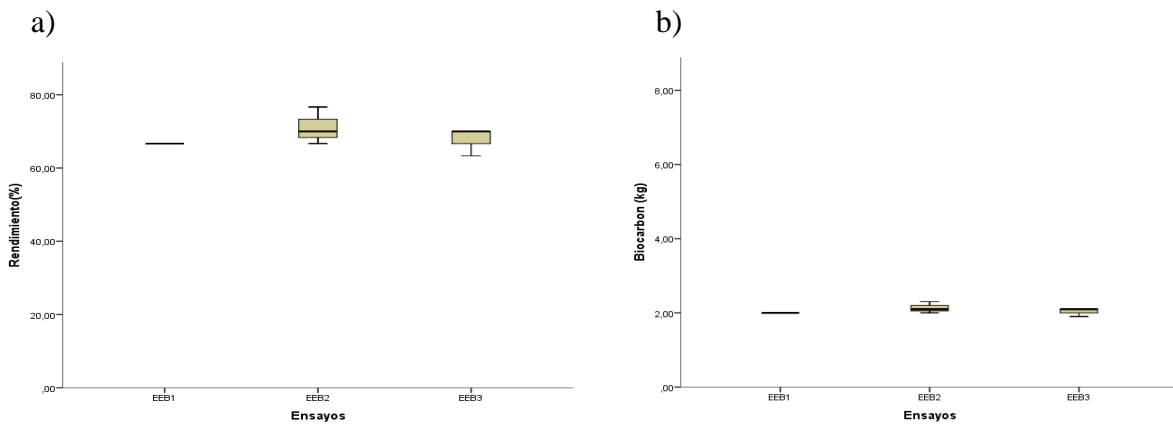
#### 3.1 Obtención de Biocarbón

Las gráficas de cajas y bigotes muestran que el rendimiento de biocarbón (Figura 8a) y del total de biocarbón (Figura 8b) correspondiente al cacao obtenidos a diferentes temperaturas no similares. El ensayo realizado a 250 °C y 300 °C, tuvieron un sesgo hacia valores inferiores a la mediana.



**Figura 8.** Gráfica de cajas y bigotes para el biocarbón obtenido en el ECC: a) Rendimiento (%); b) Total de biocarbón (kg).

El porcentaje de rendimiento obtenido en los tres ensayos del estiércol bovino muestra valores superiores a los obtenidos en el biocarbón de cacao (Figura 9a). También, el peso total del biocarbón de estiércol fue superior al cacao y con una menor dispersión de los datos en los tres ensayos (Figura 9b). Diferencias que estarán relacionadas al grado de humedad de las muestras, una mayor carga de agua incide en el peso final.



**Figura 9.** Gráfica de cajas y bigotes para el biocarbón obtenido en el EEB: a) Rendimiento (%); b) Total de biocarbón (kg).

No se obtuvo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en el análisis de varianza realizado para el porcentaje de biocarbón y el total de biocarbón (Tabla 2). Los promedios más altos del biocarbón de cacao se obtuvieron en ECC3, con un rendimiento de 35,56%, y el peso total de 1,07 kg. Los valores mínimos y máximos de rendimiento fueron entre 23,33 % (ECC2) a 33,33 % (ECC1; ECC3) y de 33,33 % (ECC2) a 36,67 % (ECC1; ECC3), respectivamente; en cuanto al total de biocarbón fueron muy ajustados y variaron entre 0,70 kg (ECC2) a 1,10 kg (ECC1 y ECC3).

Para el biocarbón de estiércol bovino el valor más alto de rendimiento y el total de biocarbón corresponden al ensayo EEB2 con 71,11% y 2,13 kg. El rendimiento de biocarbón indicó valores mínimos y máximos de: 63,33 % (EEB3) a 66,67 % (EEB1 y EEB2) y 66,67 % (EEB1) a 76,67 % (EEB2), respectivamente. En cuanto a los rangos obtenidos de menor a mayor para el total de biocarbón fueron: 1,9 kg (EEB3) a 2,0 kg (EEB1; EEB2) y de 2,0 kg (EEB1) a 2,3 kg (EEB2).

**Tabla 2.** Análisis de varianza ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ) de biocarbón, donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.

Variables	Ensayos	Cáscara de Cacao				Ensayos	Estiércol Bovino			
		Mínimo	Media	Máximo	P-valor		Mínimo	Media	Máximo	P-valor
Rendimiento (%)	ECC1	33,33	34,44	36,67	0,23	EEB1	66,67	66,67	66,67	0,23
	ECC2	23,33	30,00	33,33		EEB2	66,67	71,11	76,67	
	ECC3	33,33	35,56	36,67		EEB3	63,33	67,78	70,00	
Total Biocarbón (kg)	ECC1	1,00	1,03	1,10	0,37	EEB1	2,00	2,00	2,00	0,37
	ECC2	0,70	0,90	1,00		EEB2	2,00	2,13	2,30	
	ECC3	1,00	1,07	1,10		EEB3	1,90	2,03	2,10	

### 3.2 Características químicas del biocarbón obtenido de cáscara de cacao y estiércol bovino

La tabla 3, muestra los valores de las propiedades químicas: CE, pH medido en agua destilada, pH medido en KCL y alpha pH.

Los valores promedios de CE fluctuaron entre 0,01 a 0,3 dS/cm. En el ensayo ECC1 obtenido a 200°C se registró el pico más alto de CE (1,22 dS/cm), mientras que en el ensayo ECC3 obtenido a 300°C, la CE fue menor (0,85 dS/cm). Para el caso del estiércol bovino, sucedió lo contrario el ensayo EEB1 registró un valor de 0,57dS/cm, menor a la

CE de EEB3 (1,27 dS/cm). Esta diferencia de valores que indican presencia de sales relacionadas en el caso del cacao a las ligninas y para el estiércol a la urea, la incidencia de la temperatura ocasiona que se degraden en el caso del banano y en el estiércol se concentren. Pero en general los valores fueron similares a los obtenidas en otras investigaciones, aunque los valores de CE tienen una relación directa con el tipo de biomasa como es el caso de la madera de los árboles que por lo general sobrepasan los 10 dS/cm (Karim et al., 2015; Wang et al., 2015; Nanganoa et al., 2019). Por otro lado, Pérez Salas et al. (2013) expresan que el valor  $\leq 0,2$  dS/cm indica ausencia de sales en especial de elementos como el sodio.

Los valores de pH obtenidos del biocarbón de cacao oscilaron entre 9,04 (ECC3) a 10,51 (ECC1), rango considerado altamente alcalino. Efecto que se corrobora al medir el pH en KCL, donde los valores fueron entre 9,10 (ECC3) a 10,04 (ECC1). Mientras que los valores de pH en estiércol bovino oscilaron entre 8,16 (EEB3) a 8,29 (EEB1), rango considerado altamente alcalino, valores que se repiten al medir el pH del biocarbón en KCL (8,23 en EEB3 y 8,37 en EEB1). Esto explica que a una temperatura mayor a 300 °C se produzca la reducción de compuestos ácidos (ácidos húmicos) y aumento de las bases alcalinas (K, Ca y Mg), este efecto incrementa el pH de las muestras (Yeboah et al. 2016). Los pH obtenidos de menor valor en ECC3 y EEB3, se explica a que las ligninas que se degradan a partir de los 450 °C y se produce un aumento de los grupos funcionales como los hidroxilos, que está relacionado con los valores obtenidos.

Los valores de alpha pH para ECC a temperaturas de 200°C y 250°C dieron valores de carga líquida electronegativas de -0,47 y -0,17, mientras que para la temperatura de 300°C dio un valor electropositivo de 0,06. En el caso de EEB a temperaturas de 200°C y 300°C fluctuaron valores de carga líquida electropositivas de 0,14 y 0,07, mientras que para la temperatura de 250°C dio un valor electronegativo de -0,04.

**Tabla 3.** Valores estimados de CE, pH medida en agua destilada y en KCL, Alpha pH de biocarbón, donde CC: Cáscara de cacao; EB: Estiércol bovino y E: Ensayo

Ensayos	CC				EB			
	CE (dS/cm)	pH en H2O	pH en KCL	Alpha pH	CE (dS/cm)	pH en H2O	pH en KCL	Alpha pH
E1	1,22	10,51	10,04	-0,47	0,57	8,23	8,37	0,14
E2	0,90	9,14	8,97	-0,17	0,76	8,29	8,25	-0,04
E3	0,85	9,04	9,10	0,06	1,27	8,16	8,23	0,07



### 3.3 Hidrofobicidad

En la tabla 4 se presenta la hidrofobicidad observada de ECC y EEB. En ECC, el análisis descriptivo y la prueba HSD de Tukey se observan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los ensayos. Los valores mínimos y máximos están en el orden de 1 a 22 segundos y de 80 a 177 segundos. El ECC3 obtuvo el menor rango 1-80 segundos, mientras el mayor registro fue de 65,73 segundos (ECC2), seguido de 14,13 segundos (ECC1) y 13,93 segundos (ECC3)

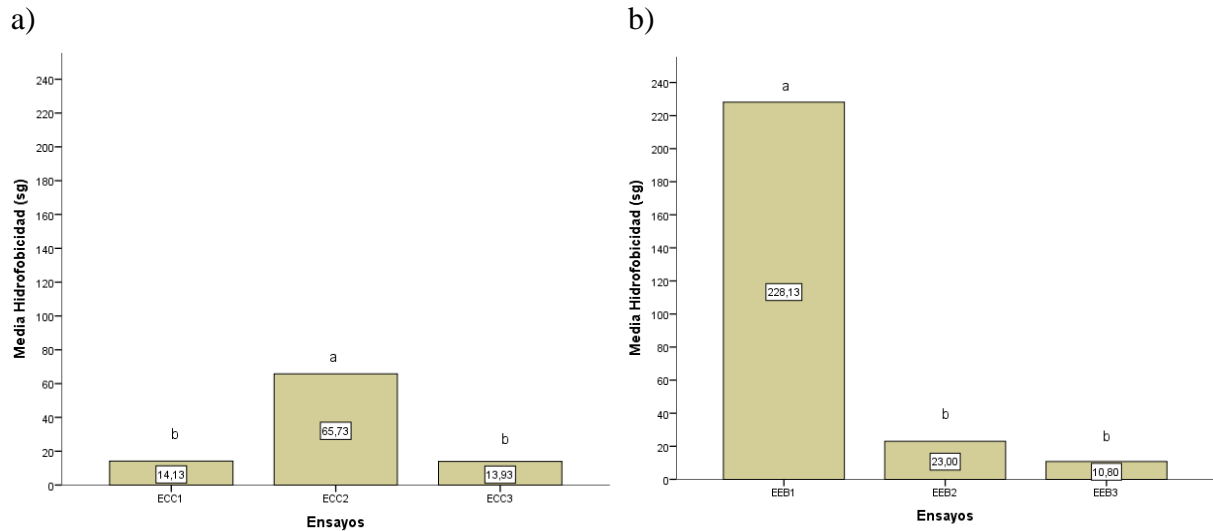
En EEB, también se obtuvo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los ensayos. Los valores mínimos y máximos en el orden de 1-2 segundos y 53-763 segundos, en donde el EEB3 obtuvo el menor rango 1-53 segundos. El mayor registro de la media fue 228,13 segundos (EEB1), seguido de 23,00 segundos (EEB2) y 10,80 segundos (EEB3). La alta hidrofobicidad en el estiércol bovino obtenido a temperatura de 200 °C, es un indicador que el agua no penetra con facilidad la capa superficial que se forma sobre los biocarbones cuando no se pirolizan de forma adecuada, capa que está relacionada con el nivel de grasas, carbohidratos y azúcares. En el caso del biocarbón de cacao la degradación de las fibras a los 300°C es un factor a favor que permite una mayor permeabilidad del biocarbón.

**Tabla 4.** Estadística descriptiva y prueba de HSD de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) de Hidrofobicidad en donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.

Ensayos	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	sig. p-valor
ECC1	14,13 b	35,159	2	140	0,001
ECC2	65,73 a	54,629	22	177	
ECC3	13,93 b	24,714	1	80	
EEB1	228,13 a	275,186	2	763	0,001
EEB2	23,00 b	32,346	1	74	
EEB3	10,80 b	15,525	1	53	

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

La hidrofobicidad de cada biocarbón comparada con la Prueba de Tukey indicó diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) solo en cáscara de cacao. Los valores de hidrofobicidad de menor a mayor fueron: 13,93 segundos (ECC3), 14,13 segundos (ECC1) y 65,73 segundos (ECC2) (Figura 10a). En el estiércol bovino los valores de menor a mayor fluctuaron de la siguiente manera: 10,80 segundos (EEB3), 23,00 segundos (EEB2) y 228,13 segundos (EEB1) (Figura 10b).



**Figura 10.** Hidrofobicidad por ensayos: a) Cáscara de cacao; b) Estiércol bovino.

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

### 3.4 Porcentaje de Humedad

La Tabla 5, se presenta la prueba de Tukey para el porcentaje de humedad, sin obtener diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los ensayos de cáscara de cacao. Los valores aumentaron a medida que se incrementó la incineración (8,15%, ECC2; 9,71%, ECC1; 10,28%, ECC3). En estiércol bovino, se obtuvo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los ensayos. Los valores mínimos y máximos fueron: 0,50- 2,94% y 4,41- 7,21%, y en EEB2 fue donde se obtuvo el menor rango (0,50- 4,41%).

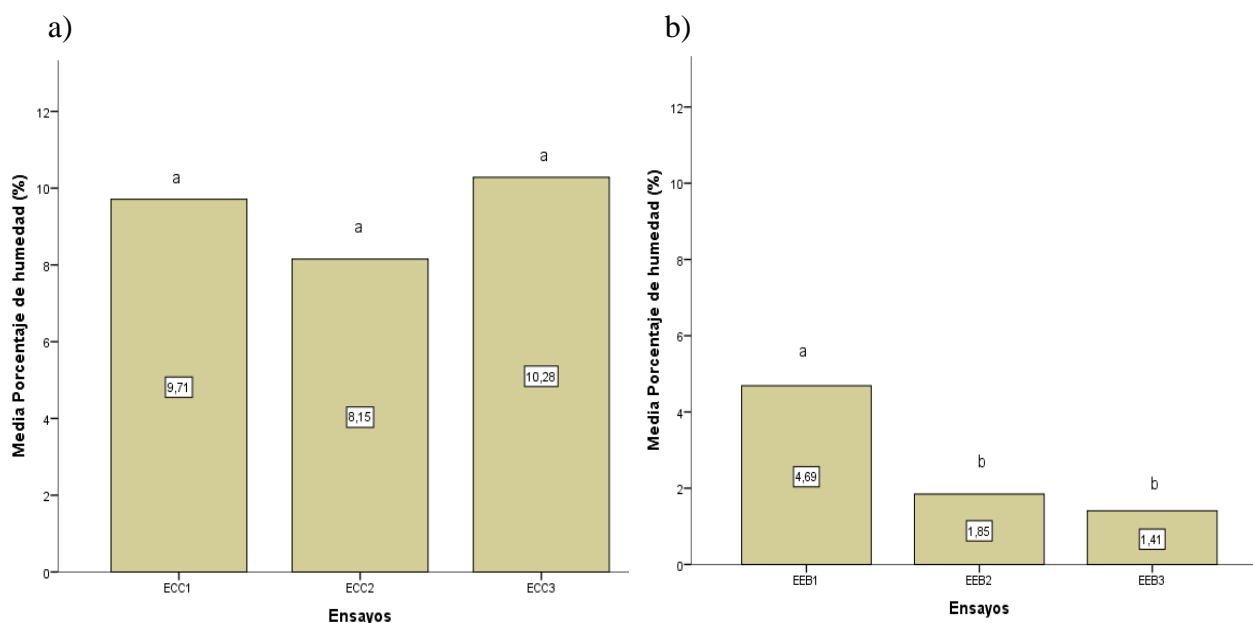
**Tabla 5.** Estadística descriptiva y prueba de HSD de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) del porcentaje de Humedad en donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.

Ensayos	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	sig. p-valor
ECC1	9,71 a	0,91	8,21	10,58	0,056
ECC2	8,15 a	1,30	6,25	9,95	
ECC3	10,28 a	3,90	5,56	16,00	
EEB1	4,69 a	1,44	2,94	7,21	0,000
EEB2	1,85 b	1,44	0,50	4,41	
EEB3	1,41 b	1,08	0,50	5,12	

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

La Prueba de HSD de Tukey para comparar los porcentajes de humedad de los ensayos de cáscara de cacao y estiércol bovino, se presentan en la Figura 11. En el caso de la cáscara de cacao no indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los ensayos (Figura

11a). Se observa también que los valores fueron muy próximos (9,71% ECC1; 8,15% ECC2; 10,28% ECC3). El mayor registro de la media fue 10,28% (ECC3), seguido de 9,71 % (ECC1) y 8,15% (ECC2). Por otra parte, el test de Tukey indicó diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los ensayos del biocarbón de estiércol bovino. Los valores fueron de mayor a menor de la siguiente manera: 4,69% (EEB1), 1,85% (EEB2) y 1,41% (EEB3) (Figura 11b).



**Figura 11.** Porcentaje de humedad por ensayos: a) Cáscara de cacao; b) Estiércol bovino.

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

### 3.5 Porcentaje de cenizas

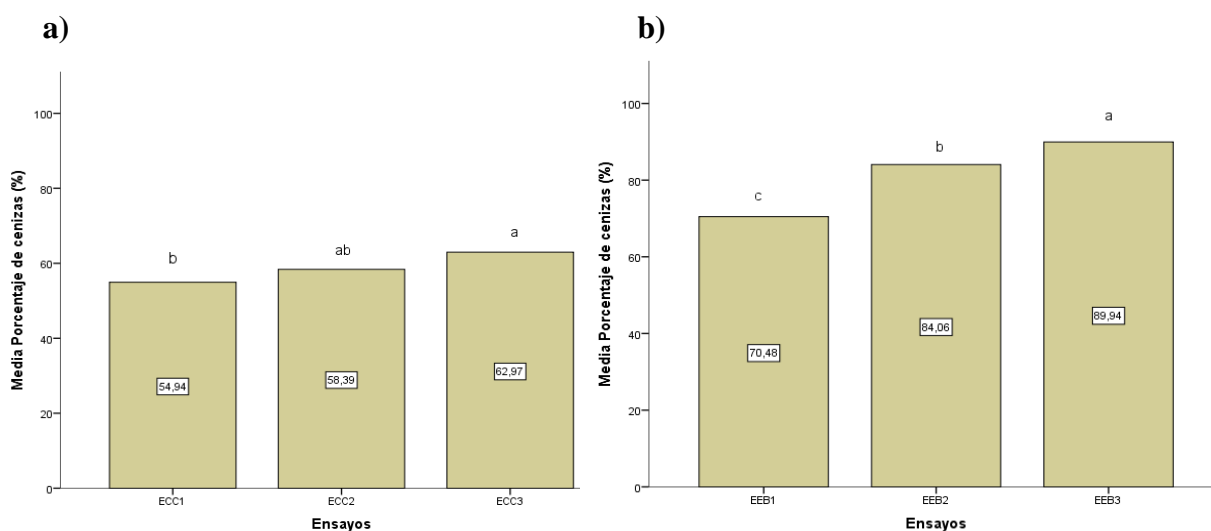
La prueba HSD de Tukey realizada para el porcentaje de ceniza se presenta en la tabla 6, donde ambos biocarbones indicaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Los valores de biocarbón de cacao fluctuaron entre 38,48- 53,29% y 59,24- 68,56%, en donde el ECC1 obtuvo el menor rango 38,48- 59,24%, valores bajos si se comparan con los biocarbones de cacao. La fluctuación de promedios del biocarbón de bovino vario en el orden de 66,31- 87,33% y 74,11- 92,14%, en donde el EEB1 obtuvo el menor rango 66,31- 74,11%.

**Tabla 6.** Estadística descriptiva y prueba de HSD de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) del porcentaje de Ceniza en donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.

Ensayos	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	sig. p-valor
ECC1	54,94 b	5,77	38,48	59,24	0,001
ECC2	58,39 ab	3,83	53,29	65,00	
ECC3	62,97 a	5,97	45,02	68,56	
EEB1	70,48 c	2,33	66,31	74,11	0,001
EEB2	84,06 b	9,30	66,93	91,83	
EEB3	89,94 a	1,76	87,33	92,14	

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Se muestra el porcentaje de ceniza de biocarbón de cacao y bovino por cada ensayo en la figura 12. Dada la Prueba de HSD de Tukey indicó diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en biocarbon de cacao. Los valores de mayor a menor vario de la siguiente manera: 62,97% (ECC3), seguido de 58,39% (ECC1) y 54,94% (ECC3) (Figura 12a). En el biocarbón de bovino también se obtuvo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los ensayos, pero con valores superiores y que fluctuaron de la siguiente manera: 89,94% (EEB3), seguido de 84,06% (EEB2) y 70,48% (EEB1) (Figura 12b).



**Figura 12.** Porcentaje de ceniza por ensayos: a) Cáscara de cacao; b) Estiércol bovino.

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

### 3.6 Carbono Fijo

Se observan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) obtenidas en la prueba HSD de Tukey entre los ensayos como lo indica la tabla 7. Los valores mínimos y máximos en el orden de 20,91- 28,45% y 36,76- 48,72%, en donde el ECC3 obtuvo el menor rango 20,91-

36,76%. En EB, también se obtuvo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los ensayos. Los valores mínimos y máximos en el orden de 1,23- 17,82% y 7,00- 24,94%, en donde el EEB3 obtuvo el menor rango 1,23- 7,00%.

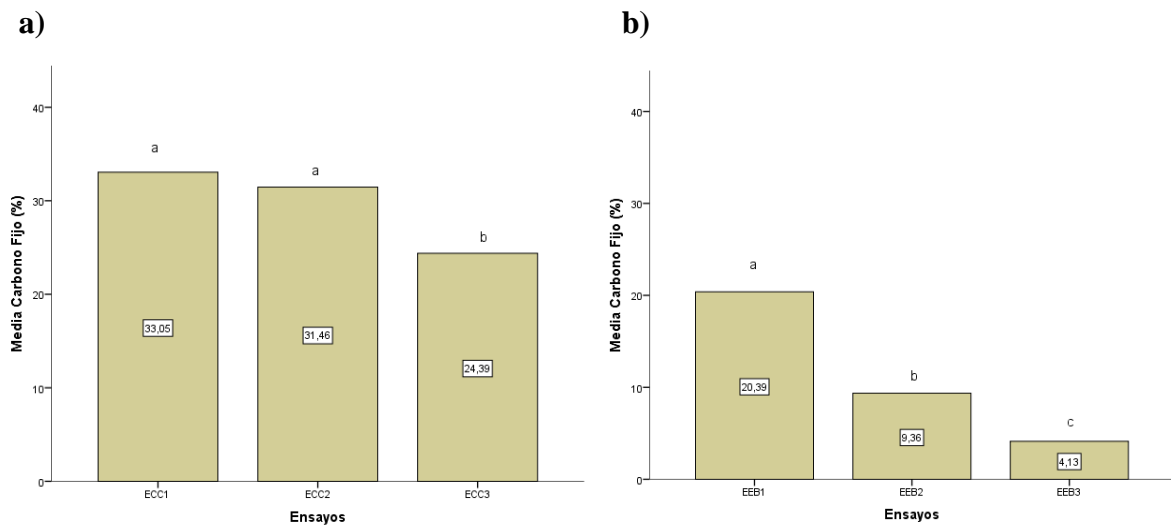
**Tabla 7.** Estadística descriptiva y prueba de HSD de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) del carbono fijo en donde ECC: Ensayo de cáscara de cacao; EEB: Ensayo de estiércol bovino.

Ensayos	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	sig. p-valor
ECC1	33,05 a	5,84	28,45	48,72	0,000
ECC2	31,46 a	2,85	26,64	37,53	
ECC3	24,38 b	3,64	20,91	36,76	
EEB1	20,39 a	2,01	17,82	23,31	0,000
EEB2	9,35 b	8,03	2,59	24,94	
EEB3	4,13 c	1,92	1,23	7,00	

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

La Prueba de HSD de Tukey indico diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el porcentaje de carbono fijo de CC entre los ensayos. Donde en ECC las medias de mayor a menor en el siguiente orden: 33,054% (ECC1), seguido de 31,462% (ECC2) y 24,385% (ECC3) (Figura 13a).

En el EB también se obtuvo diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los ensayos, donde las medias de mayor a menor varían en: 20,390% (EEB1), seguido de 9,358% (EEB2) y 4,131% (EEB3) (Figura 13b).



**Figura 13.** Porcentaje de carbono fijo por ensayos: a) Cáscara de cacao; b) Estiércol bovino.

Nota: Las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

### 3.7 Análisis IF por FTIR.

Los principales grupos funcionales que se compararon con las bandas determinadas por el análisis de IF por FTIR se muestran en la Tabla 8.

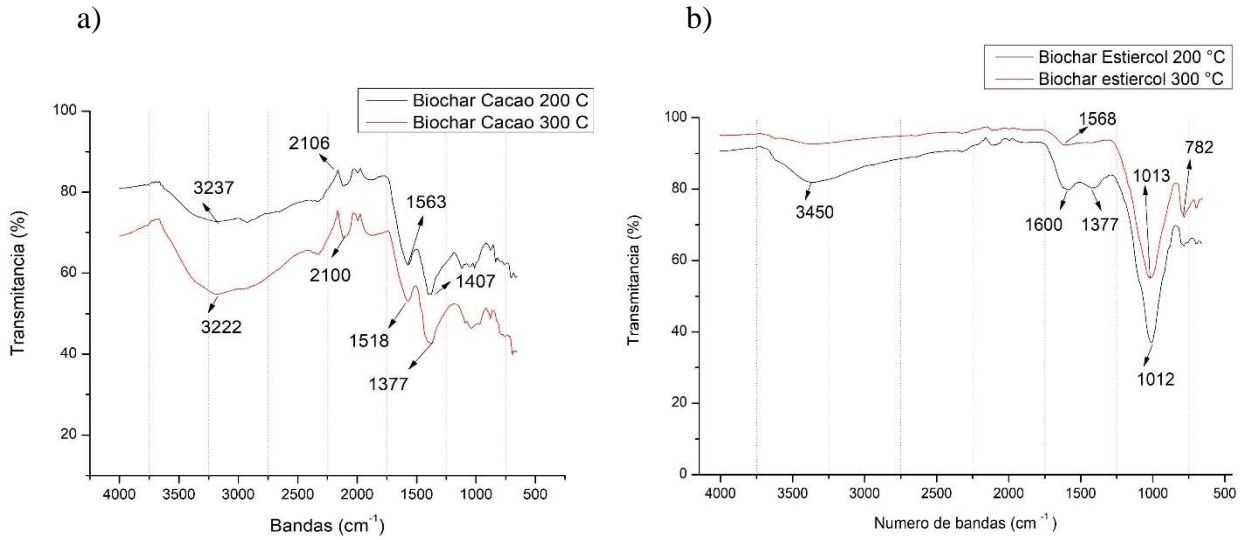
**Tabla 8.** Principales grupos funcionales por Longitud de Longitud

Longitud de Longitud de onda cm <sup>1</sup>	Grupos Funcionales
3400-3000	O-H/N-H
2950-2920	C-H Alifático estrecho
2920-2860	Asimetría y simetría C-H estrecha vibración de los grupos CH <sub>3</sub> y CH <sub>2</sub>
1720-1725	C=O ácidos carboxílicos; C=O carbonilo cetónico
1740-1698	Estrecha vibración de los grupos C=OOH, C=ONH, C=OOR, CMO
1650-1500	Alargamiento CC aromático, C=O amida secundaria, C=O quinónico unido a cetonas conjugadas
1400-1380	Estrechamiento simétrico de COO
1050	Estrechamiento de carbohidratos y alcoholes
1080-1030	Polisacáridos, estrechamiento C=O, C-O-C y OCH

El análisis de IF de las muestras del biocarbón de cacao muestran en la Figura 14a. La vibración entre el rango de 3500 a 3000 indica un estiramiento característico de grupos funcionales -OH y -NH (grupos hidroxilos y amoniacal). Pico que está ausente en el biocarbón de estiércol obtenido a 300°C. Esta elongación del espectro también se relaciona con el contenido de humedad en las muestras (Figura 14b). En el caso del EEB 300°C, la pendiente se aplana, indicando que posee una menor cantidad de humedad y mayor cantidad de ceniza.

Entre las bandas de 1600-1580, indican picos de estiramiento de C = C y C = O, que corresponden a sustancias aromáticas como aminas y cetonas. En la banda de 1377, se obtuvo un estiramiento de COO (grupo carbonilo); mientras en 1080-1030, se encontró

polisacáridos. La firma espectral corresponde a los determinados por (Tsai et al. 2020). Los espectros IR del biocarbón de estiércol fue similar al de cacao, entre la banda 1010 - 1050, el pico detectado puede estar asociado a la materia inorgánica (por ejemplo, enlace P-O y sulfatos inorgánicos PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), y también se encuentran estrechamientos con carbohidratos y alcoholes.



**Figura 14.** Espectros infrarrojos obtenidos por FTIR: a) Biocarbón de cáscara de cacao; b) Biocarbón de estiércol bovino.

### 3.8 Determinación de nitrógeno obtenido del biocarbón

Los resultados de los análisis de nitrógeno de los biocarbón obtenidos se presentan en la tabla 9. Los niveles de nitrógeno de esta investigación en el biocarbón de cacao fluctuaron en rangos de 4,30 a 4,32 %, y para EB en rangos de 4,19 a 4,38 %, siendo así el biocarbón de EB a temperatura de 300°C el que logra el mayor valor (4,38 %).

**Tabla 9.** Resultado del análisis del total de nitrógeno del biocarbón obtenido de la cáscara de cacao y el estiércol de bovino.

Parámetro	Biocarbón a 200°C		Biocarbón a 300°C	
	Cáscara de Cacao	Estiércol Bovino	Cáscara de Cacao	Estiércol Bovino
Nitrógeno (%)	4,30	4,19	4,32	4,38

#### **IV. CONCLUSIONES**

El biocarbón con los parámetros de rendimiento y cantidad los valores más altos fue el obtenido a 250 °C conseguido a partir de biomasa de Estiércol Bovino.

Todos los ensayos realizados a los biocarbón de cáscara de cacao y de estiércol bovino fueron altamente alcalino con una baja CE. El test de hidrofobicidad de la cáscara de cacao conformada por fibras como ligninas y celular fue un factor favorable para su permeabilidad del biocarbón.

El mayor contenido de porcentaje de humedad se obtuvo en cáscara de cacao a 300 °C, siendo así inversamente proporcional al estiércol bovino. Se obtuvo el mayor porcentaje de ceniza en el estiércol bovino a una temperatura de 300 °C. Mientras que el carbono fijo obtuvo en cáscara de cacao el mayor valor a temperatura de 200 °C, resultado que se corroboró con el análisis de Infrarrojo donde las muestras de cacao mostraron grupos funcionales carboxílicos.



## **V. RECOMENDACIONES**

Se recomienda trabajar con un horno pirolítico con tecnología que garantice la calidad del productor que se vaya a obtener ya que el utilizado para esta investigación fue de manera artesanal y el equipo opero de forma discontinua.

Utilizar biomasa de manera reciclada ya que en la mayoría no le dan un valor agregado, para así ser utilizados para la elaboración de biocarbón para que pueda ser un aporte importante al suelo, evitando así el uso excesivo de fertilizantes químicos ya que los metales pesados quedan en la superficie del suelo y principalmente cuidar el medio ambiente.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggangan, N. S., Cortes, A. D., & Reaño, C. E. (2019). Growth response of cacao (*Theobroma cacao* L.) plant as affected by bamboo biochar and arbuscular mycorrhizal fungi in sterilized and unsterilized soil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, 101347. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2019.101347>
- Alburquerque Méndez, J. A. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal - Dialnet. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=63944>
- Sanchez Gutierrez, J. C., & Manrique Huaco, J. A. (2020). Revisión bibliográfica de los procesos y metodologías para elaborar biochar a partir de residuos agrícolas y lodos de depura.
- Unda, S. B., Muñiz, J. R., & Loaiza, H. A. (2022). Efecto del uso de abono orgánico con biocarbón sobre las características morfológicas de mazorca de *Theobroma cacao* cv CCN51. *Ciencia y Agricultura*, 19(2). <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n2.2022.14265>
- Barrezueta Unda, S., & Sisalima Morales, P. (2021). EFFECTS OF BIOCHAR ON PLANT DEVELOPMENT OF THEOBROMA COCOA L. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 86–91.
- Bisdom, E. B. A., Dekker, L. W., & Schoute, J. F. T. (1993). Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*, 56(1–4), 105–118. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(93\)90103-R](https://doi.org/10.1016/0016-7061(93)90103-R)
- Chi, N. T. L., Anto, S., Ahamed, T. S., Kumar, S. S., Shanmugam, S., Samuel, M. S., Mathimani, T., Brindhadevi, K., & Pugazhendhi, A. (2021). A review on biochar production techniques and biochar based catalyst for biofuel production from algae. *Fuel*, 287, 119411. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.119411>
- Científico, A., -Gómez, A., Cruz-Dominguez, L. ;, Jiménez-Madrid, A. ;, Ocampo-Duran, D. ;, Parra-González, A. ;, Alonso-Gómez, L., Cruz-Dominguez, A., Jiménez-Madrid, D., Ocampo-Duran, Á., & Parra-González, S. (2016). BIOCHAR AS AN AMENDMENT IN AN OXISOL AND ITS EFFECT ON THE GROWTH OF CORN. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 2, 341–349.
- Cristina, M. C. C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58.

- Dewi Sasmita, K., Anas, I., Anwar, S., Yahya, S., & Djajakirana, G. (2017). Application of Biochar and Organic Fertilizer on Acid Soil as Growing Medium for Cacao (*Theobroma cacao* L.) Seedlings. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 36(5), 261–273.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., Etchevers Barra, J. D., Rebolledo, E., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., & Valtierra Pacheco D Etchevers Barra, E. J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil Autora responsable (hidalgo@colpos.mx). *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382.
- Fuentes Hernández, A. C., & Recio Recio, Á. (2005). Propuesta De Diseño De Un Horno–Reactor Para Realizar La Pirólisis De La Cáscara De Arroz. *Tecnología Química*, XXV(2), 87–98. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543747013>
- Gathorne-Hardy, A., Knight, J., & Woods, J. (2009a). Biochar as a soil amendment positively interacts with nitrogen fertiliser to improve barley yields in the UK. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 6(37), 372052. <https://doi.org/10.1088/1755-1307/6/7/372052>
- González-Marquetti, I., Rodríguez, M. G., Peteira Delgado-Oramas, B., & Schmidt, H.-P. (2020). Artículo Reseña Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas Biochar and its contribution to plant nutrition, growth and defense. *Revista de Protección Vegetal*, 35(2), 2224–4697. <https://eqrcode.co/a/rAlVdb>
- Iglesias-Abad, S., Alvarez-Vera, M., Vázquez, J., & Salas, C. (2020). Biochar de biomasa residual de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) mediante dos métodos de pirólisis. *Manglar*, 17(2), 105–111. <https://doi.org/10.17268/MANGLAR.2020.016>
- Islam, M., Halder, M., Siddique, M. A. B., Razir, S. A. A., Sikder, S., & Joardar, J. C. (2019). Banana peel biochar as alternative source of potassium for plant productivity and sustainable agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 407–413. <https://doi.org/10.1007/S40093-019-00313-8>
- Joseph S., Corder Peacocke C., Lehmann J. y Munroe P. 2009. Developing a Biochar Classification and Test Methods. En: *Biochar for Environmental Management*. Lehmann J. and Joseph S. Earthscan Publishing for a sustainable future: UK y USA. 107-126 p.

- Karim, A., Kumar, M., Mohapatra, S., Panda, C., & Singh, A. (2015). Banana Peduncle Biochar: Characteristics and Adsorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 7(1), 1–10.
- Kazemi Shariat Panahi, H., Dehhaghi, M., Ok, Y. S., Nizami, A. S., Khoshnevisan, B., Mussatto, S. I., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., & Lam, S. S. (2020). A comprehensive review of engineered biochar: Production, characteristics, and environmental applications. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122462. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122462>
- Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química PUCP*, 26(1–2), 37–41.
- La Serna Cubas, S. K., & Stefany Alexandra, S. S. (2019). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL BIOCHAR A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL*.
- Marín-Armijos, J., García-Batista, M. R., & Berrezueta-Unda, S. (2018). Elaboración De Biocarbón Obtenido a Partir De La Cáscara Del Cacao Y Raquis Del Banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(December), 75–81.
- Moreno-Riascos, S., & Ghneim-Herrera, T. (2020). Impacto del uso del biocarbón sobre la producción agrícola y el cambio climático. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 38(3), 367–381. <https://doi.org/10.15446/AGRON.COLOMB.V38N3.87398>
- Nanganoa, L. T., Yinda, G. S., Ndande, E. J., Mounoumeck, P. V., Levai, L. D., Okolle, J. N., & Ngosong, C. (2019). Integrated application of banana peduncle-derived biochar and fertilizer affect soil physicochemical properties and plant nutrient uptake. *Fundamental and Applied Agriculture*, 4(4). <https://doi.org/10.5455/faa.64828>
- Olmo Prieto, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. *Universidad de Cordova*. <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13381>
- Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-Lopez, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejacal, I., Salcedo-Pérez, E., Balois-Morales, R., Pérez-Cabrera, C. A., Juárez-Lopez, P., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejacal, I., Salcedo-Pérez, E., & Balois-Morales, R. (2021). Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 713–725. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V12I4.2542>

- Pérez Salas, R. A., Tapia Fernández, A. C., Soto, G., & Benjamin, T. (2013). The BioCarbon effect on *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense and the banana plant development (Musa AAA). *InterSedes*, 14(27), 66–100.
- Puentes Escobar, T. C., & Rodríguez Carlosama, A. (2021). Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Avances Investigación En Ingeniería*, 18(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/AVANCES.2.7540>
- Ramtahal, G., Umaharan, P., Hanuman, A., Davis, C., & Ali, L. (2019). The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L. *Science of The Total Environment*, 693, 133563. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.07.369>
- Sial, T. A., Khan, M. N., Lan, Z., Kumbhar, F., Ying, Z., Zhang, J., Sun, D., & Li, X. (2019). Contrasting effects of banana peels waste and its biochar on greenhouse gas emissions and soil biochemical properties. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 366–377. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2018.10.030>
- Tejada-Tovar, C. N., Villabona-Ortíz, A., Colpas-Castillo, F., Sanmartín-Álvarez, Z., & Landázury-Galé, D. (2021). Cocoa husk-derived Biochars synthesized at low temperature impregnated with zinc chloride for removal of ibuprofen in different solutions. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 24(1). <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i1.10941>
- Trujillo, E. A., Eduardo Valencia, C. A., Cecilia Alegría, M. A., Honorata Sotelo, A. M., & Flor Césare, M. C. (2019). PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS AVÍCOLAS. In *Rev Soc Quím Perú* (Vol. 85, Issue 4).
- Tsai, W. T., Hsu, C. H., Lin, Y. Q., Tsai, C. H., Chen, W. S., & Chang, Y. T. (2020). Enhancing the pore properties and adsorption performance of cocoa pod husk (CPH)-Derived biochars via post-acid treatment. *Processes*, 8(2), 144.
- Wang, S., Gao, B., Zimmerman, A. R., Li, Y., Ma, L., Harris, W. G., & Migliaccio, K. W. (2015). Physicochemical and sorptive properties of biochars derived from woody and herbaceous biomass. *Chemosphere*, 134, 257–262.
- Yeboah, E., Asamoah, G., Kofi, B., & Abunyewa, A. A. (2016). Effect of Biochar Type and Rate of Application on Maize Yield Indices and Water Use Efficiency on an Ultisol in Ghana. *Energy Procedia*, 93, 14–18.
- Zheng, J., Wang, S., Wang, R., Chen, Y., Siddique, K. H. M., Xia, G., & Chi, D. (2021). Ameliorative roles of biochar-based fertilizer on morpho-physiological traits, nutrient uptake and yield in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under water stress. *Agricultural Water Management*, 257, 107129. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2021.107129>

## VII. ANEXOS



**Anexo 1.** Muestra de biocarbon en agua (1:2.5 H<sub>2</sub>O) previo a la agitación para medir pH y CE.



**Anexo 2.** Determinación de hidrofobicidad en el laboratorio.



**Anexo 3.** Determinación de humedad.



**Anexo 4.** Ceniza sacada de la mufla.



**Anexo 5.** Peso de los biocarbones.



**Anexo 6.** Control del tiempo de Pirólisis.



**Anexo 7.** Colocación de Biomasa seca a Pirolicar.



**Anexo 8.** Obtención de Biocarbón.