



Caracterización de la cacota de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon fear-05 para la obtención de materiales carbonosos mediante activación química para posible uso industrial

Güiza, Iván A., Gómez-Reina, Miguel A., Cuan-Mamby, Gabriela M., Monsalve-Estrada, Nancy Y., López-Muñoz, Luis G.

Grupo de investigación Agroindustria y desarrollo, Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias agropecuarias y recursos naturales, Universidad de Los Llanos, Villavicencio-Colombia

<https://orcid.org/0000-0002-2777-7085> ivan.guiza@unillanos.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-5039-9417> miguel.gomez.reina@unillanos.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-8495-8686> gabriela.cuan@unillanos.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-8764-8699> nancy.yolanda@unillanos.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-3186-8577> luis.lopezm@unillanos.edu.co

ASA/Artículo

doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.10390365>

Recibido: 29-06-2023

Aceptado: 12-12-2023

RESUMEN

Este trabajo presentó los resultados del desarrollo de la evaluación de la cacota de cacao (*Theobroma cacao* L.) CLON FEAR-05 buscando una alternativa a la problemática con los residuos orgánicos, indagando algunos de los usos que pueden tener estos en el aprovechamiento para obtener carbón activado de distintos grados de adsorción para usos como: descontaminantes de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones, decoloración de líquidos, para la obtención de materiales carbonosos mediante activación química se realizaron las pruebas en la Universidad de los Llanos, para esto se realizaron pruebas en donde se hizo la activación mediante diferentes temperaturas 600, 700 y 800 °C encontrándose en la determinación de humedad para el C1 del 2,4693%, el C2 de 2,8748% y el C3 de 2,5790%, en la prueba realizada para determinar la ceniza en cada una de las temperaturas descritas anteriormente fue C1 4,68%, C2 2,74% y C3 6,08 % respectivamente, las pruebas sometidas a la materia prima para determinar el material volátil arrojó que para el C1 obtuvo un resultado de 62,36%, el C2 un 64,81% y del C3 es de 78,95%; además encontrándose del material carbonoso el C1 un 30,49%, el C2 un 29,58% y el C3 obtuvo un valor más bajo de 12,39% de carbono fijo. Lo que se puede deducir al determinar las características del material precursor, permite proyectar el tipo de carbón activado a obtener teóricamente, debido a que estas características están relacionadas con la calidad y propiedades del material carbonoso por lo que se puede recomendar en el uso del producto en la absorción de químicos tales como el azul de metileno, fenol y entre otros ya anterior mencionados, dado que es el mayor uso que se les está dando con las investigaciones realizadas.

Palabras claves: cacota, carbón activado, clon, material volátil, variable independiente



Characterization of cocoa pod (*Theobroma cacao* L.) clone fear-05 to obtain carbonaceous materials by chemical activation for possible industrial use

ABSTRACT

This work presents the results of the development of the evaluation of the cocoa cacota (*Theobroma cacao* L.) CLON FEAR-05 looking for an alternative to the problem with organic waste, investigating some of the uses that these can have in the use to obtain activated carbon of different degrees of adsorption for uses such as: water decontaminants, solvent recovery, emission control, liquid discoloration, to obtain carbonaceous materials through chemical activation, tests were carried out at the Universidad de los Llanos, for this purpose carried out tests where the activation was done by means of different temperatures 600, 700 and 800 °C, finding in the determination of humidity for the C1 of 2.4693%, the C2 of 2.8748% and the C3 of 2.5790%, in the test carried out to determine the ash in each of the temperatures described above was C1 4.68%, C2 2.74% and C3 6.08% respectively, the tests submitted to the raw material to determine the volatile material that yielded a result of 62.36% for C1, 64.81% for C2 and 78.95% for C3; In addition, the C1 was 30.49% of the carbonaceous material, the C2 was 29.58% and the C3 obtained a lower value of 12.39% of fixed carbon. What can be deduced when determining the characteristics of the precursor material, allows to project the type of activated carbon to be theoretically obtained, because these characteristics are related to the quality and properties of the carbonaceous material, so it can be recommended in the use of the product. in the absorption of chemicals such as methylene blue, phenol and among others already mentioned above, since it is the greatest use that is being given to them with the investigations carried out.

Keywords: *cacota, activated carbon, clone, volatile material, independent variable.*

INTRODUCCIÓN

La utilización de materiales carbonosos, en particular el carbón activado, se remonta en la historia de la humanidad, siendo difícil precisar cuándo exactamente comenzó su empleo. Antes de la adopción de lo que ahora conocemos como carbones activos, el carbón vegetal, derivado de maderas parcialmente desvolatilizadas o quemadas, ya se utilizaba como adsorbente. Este material presenta una estructura microcristalina similar a la del grafito, con una distribución de tamaño de poro bien definida, destacando macroporos ($r > 25$ nm), mesoporos ($25 > r > 1$ nm) y microporos ($r < 1$ nm) (1). Tradicionalmente, se ha empleado en diversas aplicaciones, desde abono hasta alimento para porcinos, siendo considerado una tecnología rentable (Mejía, 2018).

En el ámbito industrial, la purificación del agua mediante carbón activado es una práctica común desde hace tiempo, siendo un proceso esencial en la mayoría de las industrias que requieren agua potable. No obstante, existen disparidades entre las plantas potabilizadoras municipales de países "desarrollados" y "en desarrollo" (Chavez-Guerrero, 2018). Este contexto establece una

base sólida para comprender la relevancia de la investigación en curso (Rojas, 2015).

En este marco, la cacota de cacao, un residuo lignocelulósico de la agricultura se presenta como una oportunidad para obtener carbones activados (Vera Raza et al. 2022). La cacota de cacao puede ser aprovechada para la obtención de materiales carbonosos mediante activación química, contribuyendo así a su reutilización en diversas aplicaciones (Asimbaya, et al. 2016; Piñeros-Castro, 2014). Entre los posibles usos de estos materiales se encuentran la descontaminación de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones, decoloración de líquidos, eliminación de olores y soportes catalíticos, entre otros (Herrera-Rengifo et al. 2020).

En la actualidad, este subproducto lignocelulósico representa un desafío ambiental y económico, ya que su disposición inadecuada puede generar impactos negativos en el entorno (Vera Raza et al. 2022). La falta de opciones sostenibles para el aprovechamiento de la cacota de cacao conlleva a su acumulación y, en muchos casos, a su desaprovechamiento como recurso potencial (Rojas & Sánchez, 2015). La investigación propuesta se presenta como una

oportunidad para transformar esta problemática en una solución, al explorar la posibilidad de utilizar la cacota de cacao para la obtención de materiales carbonosos mediante activación química. Al encontrar aplicaciones valiosas para estos materiales en la industria, se podría no solo mitigar la acumulación de residuos agrícolas, sino también establecer un enfoque más sostenible y rentable para la gestión de estos subproductos, generando beneficios tanto ambientales como económicos.

De igual manera, su potencial para transformar la gestión de residuos agrícolas, específicamente la cacota de cacao, en un recurso valioso para la industria. La obtención de materiales carbonosos mediante activación química abre nuevas perspectivas en la producción de carbones activados, con propiedades fisicoquímicas comparables a otros utilizados en la purificación del agua y diversas aplicaciones industriales (González-Martínez & Villalobo-Peña, 2020). Esta innovación no solo representa una solución sostenible para la utilización de subproductos agrícolas, contribuyendo a la reducción de residuos, sino que también ofrece una alternativa económicamente viable para las industrias agroindustriales (Panak Balentić et al. 2018). La aplicación potencial de estos materiales en la descontaminación de aguas, recuperación de

solventes, control de emisiones y otros usos industriales es de gran importancia, ya que podría impulsar prácticas más eficientes y sostenibles en la gestión de recursos, marcando un avance significativo en el ámbito industrial y agrícola (Soares & Oliveira, 2022).

El presente proyecto de investigación se propone como una solución innovadora, explorando el potencial de la cacota de cacao como materia prima para la obtención de materiales carbonosos a diferentes temperaturas mediante activación química. El enfoque comparativo de sus características fisicoquímicas con diferentes carbones activados establecerá su idoneidad para su posible aplicación en las industrias agroindustriales. Con este estudio, se busca no solo contribuir al conocimiento científico, sino también proponer una alternativa sostenible y eficiente para la gestión de residuos agrícolas y la obtención de materiales de alto valor en el ámbito industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la Investigación

La investigación se realiza en el Laboratorio Polifuncional perteneciente al Programa de Ingeniería Agroindustrial ubicado en la sede de la Universidad de los Llanos Vereda Barcelona en Villavicencio Meta (Km 12 Vía Puerto

López), coordenadas: 4° 4' 30" N, 73°35' 7" O (Climate-data.org, 2019). La precipitación anual es de 3856 mm, la temperatura promedio es de 25.5°C y la humedad promedio anual es del 83%, donde se realizaron los análisis fisicoquímicos de las muestras recolectadas.

Preparación de la muestra.

El proceso de la preparación de la materia prima inició con la recolección aleatoria de la cáscara o cacota de cacao de la producción de cacao en el Municipio de Acacias y la Universidad de los Llanos. Se redujo el tamaño de partícula en una máquina trituradora, esta última se realizó máximo dos días después de cortarla y sacarle el fruto, para evitar descomposición de la cáscara de cacao. Se pesará la cáscara de cacao, y procedido a secarla a una temperatura de 60°C por 72 horas para deshidratar y retirar la humedad. Posteriormente se realizó una reducción de tamaño de la cáscara de cacao picándole finalmente hasta pasar por un tamiz de malla de 4,0 mm y finalmente se pesará el material seco y molido.

Caracterización fisicoquímica del material vegetal

La primera fase comprendió la caracterización fisicoquímica del material vegetal en su estado nativo, se tomaron 10 kilogramos de cacota de

cacao previamente seleccionada y molida como objeto de muestra base para los procedimientos, se determinaron el porcentaje de humedad de acuerdo con la norma ASTM D 4442-16 (ASTM, 2016), método A, el contenido de materia volátil se realizó con el procedimiento indicado en la norma ASTM E 872-82 (ASTM, 2013) y finalmente el contenido de cenizas se evaluó mediante la norma ASTM E 1755-1 (ASTM, 2007).

Elaboración de materiales carbonosos

El desarrollo de la segunda fase del proyecto se llevó a cabo con la carbonización en atmósfera de 200 mL/min de N₂ y activación química con H₃PO₄ como agente inductor de activación del material vegetal el cual se impregnó por el método de humedad incipiente.

Pretratamiento

Para llevar a cabo la elaboración de carbón activado se realizaron ciertos tratamientos que son sugeridos por el manual de carbón activado del máster de ingeniería del agua, donde nos informa que el material debe ser molido de forma fina y tamizado, para así obtener un tamaño adecuado del precursor y favorecer la difusión del agente activante, lo que genera una mejor porosidad en el carbón activo resultante (Sevilla, 2011).

Impregnación por el método de humedad incipiente

El material vegetal, será impregnado por el método de humedad incipiente, para lo cual la muestra se empapó en H_3PO_4 durante 4 horas con una relación 1:3, en agitación constante en una plancha de calentamiento a 80 °C.

Carbonización

Las tres muestras tendrán dos rampas durante su activación, la primera será un calentamiento previo de 1 hora a 100 °C con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min y la segunda rampa será la carbonización que tendrá un incremento de 5 °C/min hasta llegar a la temperatura establecido en cada ensayo. La carbonización descrita por el manual de carbón activado por la universidad de Sevilla (2011) y Mejía (2018) la activación química consiste en la impregnación del material precursor con agentes deshidratantes, seguido de tratamiento térmico con temperaturas entre 400 ° C y 900 ° C, en donde la carbonización y activación se realizaron prácticamente simultáneamente. Los tratamientos que se realizó se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos para la elaboración de carbón activado.

TRATAMIENTOS	
ID	TEMPERATURA
C1	500 °C
C2	600 °C
C3	700 °C

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización fisicoquímica del material carbonoso

Finalmente se procedió a la caracterización del material carbonizado, determinando los contenidos de humedad, materia volátil, cenizas y carbono fijo, según las normas ASTM D3173-11 (ASTM, 2011), ASTM D3175-07 (ASTM, 2007), ASTM D3174 (ASTM, 2000) y ASTM D3172 (ASTM, 2007), respectivamente; además, se evaluaron las características químicas de la superficie y textura porosa del material obtenido mediante titulaciones de Boehm, y la construcción de isothermas de adsorción de azul de metileno y de numero de yodo, según la NTC 4467.

Análisis estadístico

Para la caracterización fisicoquímica del precursor, se utilizó una estadística descriptiva que permite determinar los valores encontrados en términos de sus medidas de tendencia central,

de igual manera se determinaron medidas de dispersión (media, desviación estándar, varianza muestral y coeficiente de variación) de cada una de las variables estipuladas. Por otro lado, para la caracterización fisicoquímica del carbón activado, se utilizó una estadística diferencial para observar si existen diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de ANOVA (Carmona-Arce, 2015).

Así mismo, todos los datos de las pruebas fisicoquímicas se sometieron a un análisis de normalidad (Shapiro-Wilks), prueba de igualdad de varianza (Intervalos de confianza de Bonferroni), ANOVA y prueba de comparación Tukey. Para los análisis se utilizará el software estadístico Minitab versión 16.1.0, con un nivel de significancia del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se expresarán todos los resultados obtenidos de cada una de las pruebas realizadas en todo el desarrollo de la investigación; estas se analizarán y presentarán de acuerdo con el procedimiento implementado en la metodología.

Caracterización la cacota de cacao *Theobroma Cacao* L.

El porcentaje de humedad del material vegetal como se observa en el Cuadro 2, fue realizado por sextuplicado para obtener mayor repetitividad y fiabilidad de las pruebas establecidas bajo el procedimiento de la normatividad ASTM D4442-16, la tendencia general de los porcentajes obtenidos en cada una de las muestras tiene una acción homogénea, al promediar estos valores se obtuvo una humedad de $2,04\% \pm 0,0049$; el cual es un valor muy bajo comparado con la investigación realizada Román, et al. (2015), en la cual el recursos analizado, la cáscara de yuca tiene una humedad de $6,72\% \pm 0,22$. Se considera que el porcentaje de humedad obtenido es más bajo debido a las condiciones previas de secado a las que fue sometido.

Mediante la normativa ASTM E1755-1 se realizaron las pruebas de cenizas del material vegetal, obteniendo como resultado un promedio de $3,9\% \pm 0,0079$ de cenizas, comparado con los resultados de Albis, et al., (2017), presentan un contenido de cenizas relativamente bajo de 1,92% para el precursor utilizado, pero Román et al. (2015), exhiben el contenido de ceniza de la cáscara de yuca con un 5,55 %, por lo tanto y

según los datos adquiridos teóricamente el porcentaje de cenizas de la cacota de cacao está en un rango medio de cenizas óptimas para su carbonización, el contenido de cenizas del material precursor son parte importante para la calidad del carbón activado, ya que al realizar la combustión determina el contenido de materia incombustible presente, por lo tanto, se desea un bajo contenido de cenizas.

Cuadro 2. Caracterización de la cacota de cacao *Theobroma Cacao L* después del secado.

Parámetro	Promedio
Humedad (%)	2,035 ± 0,0049
Cenizas (%)	3,902 ± 0,0079
Material volátil (%)	4,331 ± 0,0021
Carbón fijo (%)	89,732 ± 0,0050

Fuente: Elaboración propia.

La materia volátil determinada en esta prueba tuvo un promedio bajo del 4,331% ± 0,0021. En relación con la calidad del carbón activado, la materia volátil, presentan un alto grado de importancia, porque la liberación de esos materiales gaseosos provoca un rendimiento en infraestructura porosa del carbón activado, la materia volátil es responsable de los poros en la estructura de los materiales carbonosos, porque, al ser sometido a elevadas temperaturas, el material volátil se desprende de la estructura

provocando los poros (Soares & Beatriz, 2022).

El contenido de carbono fijo se determina por la diferencia de la sumatoria de cenizas, humedad y material volátil en porcentaje, de acuerdo a la metodología de la ASTM D3172-07, donde se observa el porcentaje de carbono fijo del material vegetal con un $89,732 \pm 0,0050$, de acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia que la cacota de cacao tiene un porcentaje de carbón fijo representantes, el carbono fijo corresponde a la organización del material carbonoso no volátil de la biomasa, la presencia de heteroátomos como oxígeno, nitrógeno y azufre, hace que este pueda presentar gran variedad de grupos funcionales; de acuerdo a la información anterior se retribuye a que el rendimiento para obtener carbón activado puede ser bajo, debido al porcentaje del carbono fijo (Ospina, et al. 2013).

Valoración de la influencia de la temperatura y el tiempo de residencia

Respecto al rendimiento obtenido en cada uno de los procesos de carbonización y activación de los tratamientos establecidos, se observa en el Cuadro 3 que el rendimiento de C1 sometida a 500 °C presenta un rendimiento bajo de 11,11 % ± 0,036, se piensa que la larga exposición al proceso de carbonización generó una combustión más intensa del material, a diferencia de los resultados obtenidos para C2 y

C3 sometidos a temperaturas más altas, aunque sus porcentajes de rendimiento no son muy altos se evidencia una eficiencia del método aplicado con % de rendimiento de $19,38 \% \pm 0,115$ y $21,47 \% \pm 0,068$, respectivamente.

Cuadro 3. Porcentaje de rendimiento de los carbones elaborados.

ID	Promedio
C1	$11,11 \% \pm 0,036$
C2	$19,38 \% \pm 0,115$
C3	$21,47 \% \pm 0,068$

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de humedad obtenido en los tres carbones, se realizó de acuerdo los procedimientos de la ASTM D3173-11 y se obtuvo como resultado una humedad aceptable en cada muestra, el C1 tuvo un porcentaje de humedad del 2,4693%, en el C2 de 2,8748% y

por último el C3 de 2,5790% observar ver Cuadro 4, estos resultados son admisibles, ya que en base a la ASTM D-2867, el porcentaje de humedad de un carbón activado debe estar en unos rangos aceptables donde las especificaciones de calidad son de una humedad entre 2 al 15%, por lo tanto la humedad establecida por el carbón activado que fue llevado a prueba está en el rango razonable de los valores establecidos. Estos datos son respaldados mediante las herramientas estadísticas ANOVA y gráficas de representación visual en cajas observar gráfica 8 permitiendo observar una variabilidad estable, esto es debido a que los rangos de varianza son relativamente bajos, mediante la cual se puede evidenciar con la desviación estándar, la cual tiende a cero, por la poca dispersión que tienen los datos obtenidos de los tres carbones.

Cuadro 4. Caracterización fisicoquímica del material carbonoso

ID	Variables analizadas				
	Humedad	Cenizas	Material volátil	Carbono fijo	Numero de yodo
C1	$2,469 \pm 0,095$ a	$4,679 \pm 0,594$ a	$62,360 \pm 5,354$ a	$30,492 \pm 6,02$ a	$329,923 \pm 56,236$ a
C2	$2,875 \pm 0,091$ ab	$2,737 \pm 0,728$ b	$64,810 \pm 8,506$ ab	$29,578 \pm 8,69$ a	$421,528 \pm 13,104$ b
C3	$2,579 \pm 0,084$ b	$6,076 \pm 0,170$ c	$78,945 \pm 6,989$ b	$12,399 \pm 7,12$ b	$554,626 \pm 27,831$ b

Fuente: Elaboración propia. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, la información se agrupo utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.

La determinación de cenizas fue elaborada según la ASTM D3174, la prueba fue realizada por triplicado dando como resultado en el C1 4,68%, C2 y C3 se obtuvo un % de ceniza de 2,74% y 6,08 % respectivamente, como se puede observar en la tabla 3 , la cual permite determinar que las pruebas fueron correspondientemente dispersas, pero con un rango aceptable de acuerdo con la norma NTE INEN 1991, esta, especifica que el requisito del porcentaje de cenizas para un carbón activado debe ser del 1 al 12%; por lo tanto, el rango de cenizas del material carbonoso es aceptable, esto infiere a que el carbón activado es de buena calidad, indican que el contenido de cenizas es un factor de deducción de la calidad de sí misma, debido a que entre menor sea el contenido de cenizas, se obtendrá un carbón con mayor área superficial, índice de yodo y una mejor capacidad de adsorción, las cuales son características que permiten que el carbón sea de mejor eficacia (Carrasco & Londa, 2018).

De acuerdo con lo anterior se puede afirmar que la determinación de cenizas se realizó con rigurosidad, obteniendo un material carbonoso aceptable, también resaltan según lo dicho por Filippin, et al. (2017), que el contenido de

cenizas de un material carbonoso que supere el 12%, puede afectar principalmente la adsorción de moléculas orgánicas y la quimisorción de oxígeno; lo cual no es favorable para la aplicación de descontaminación para aguas residuales.

La determinación de material volátil es realizada de acuerdo a la ASTM D3175-07, se establecieron pruebas por triplicado con una tendencia general dispersa en cada una de los carbones, como se observa en la tabla 16, donde se evidencia incremento leve de acuerdo a los 3 carbones, el C1 obtuvo un resultado de 62,36%, el C2 un 64,81% y por último un porcentaje de material volátil del C3 es de 78,95% del material carbonoso, estos porcentajes obtenidos representa gran importancia, porque, al superar el 60% de material volátil se tiende a obtener un gran rendimiento con respecto al área superficial (González, 2017).

Al observar la variabilidad de los datos obtenidos se identifica una dispersión entre los diferentes carbones, ya que al aumentar la temperatura y disminuir el tiempo de activación crece considerablemente el material volátil, como se observa en la ilustración 6 el cual está

representado en un gráfico de cajas, en este gráfico se puede determinar visualmente que el C3 presenta un mayor material volátil comparado a los otros dos carbones, pero el C1 demuestra una disociación muy baja comparado a el C2 y C3.

El carbono fijo se realizó de acuerdo a la ASTM D3172-07, obtenido por la diferencia de los porcentajes de las pruebas de humedad, cenizas y materia volátil de los tres diferentes carbones, el C1 tuvo un 30.49%, el C2 un 29.58% y por último el C3 obtuvo un valor más bajo de 12.39% de carbono fijo en el material con porosidad desarrollada, de acuerdo a los resultados obtenidos se puede evidenciar que el carbono fijo del material carbonoso, aumentó considerablemente con respecto al carbono fijo del material vegetal, por lo cual se deduce que al realizar un proceso controlado de carbonización y activación, aumenta el carbono del material procesado, la pérdida gradual y controlada de materia volátil en condiciones óptimas produce el enriquecimiento de carbono en el carbón obtenido (Florez, 2018), así mismo afirma que obtiene un carbono fijo del material precursor de 4.8% y un carbono fijo del material carbonoso del 29,27% en la elaboración de carbón activado a base de olote.

Se evidenció un crecimiento en el número de yodo, el cual se presenta al aumentar la temperatura de carbonización y al disminuir el tiempo al cual fue expuesto el material vegetal, el C1 obtuvo un número de yodo de 329,923 mg/g, el C2 un número de 421,526 mg/g y por último el C3 fue de 554,625 mg/g, mediante este resultado se observó que al aumentar la temperatura de carbonización aumenta el número de yodo, el incremento de temperatura en las carbonización provoca un aumento en el número de yodo (Florez, 2018), esto es debido a que se generan fuertes interacciones entre el vapor y el material precursor; teniendo en cuenta los valores obtenidos, se puede determinar que el número de yodo de los tres tipos de carbón activado son relativamente bajos, ya que ASTM D 4607, ratifica que según especificaciones establecidas por la normativa estadounidense este valor debe variar entre 500-1200 mg/g para carbón activado.

El número de yodo es un método que permite establecer el área superficial del carbón activado, ya está definido como los miligramos de yodo absorbidos por un gramo de carbón, el tamaño del yodo es suficientemente pequeño, debido a eso, el carbón activado que contenga microporos podrá absorber las moléculas del yodo,

permitiendo así alojarse en su estructura y cumplir su función de absorber, por lo tanto, infiere que el número de yodo es directamente proporcional al área superficial; de igual manera se deduce que entre mayor sea el número de yodo mayor va ser el área superficial y por ende los poros del carbón activado serán más pequeños (Uribe, 2013).

Comparación frente a los rangos requeridos para su comercialización.

Según se demuestra en la recolección de datos tomados desde los años 2010 al 2021 en donde se tomaron en cuenta los siguientes países como Argentina, Colombia, Cuba, Ecuador, España, México, Perú y Venezuela, encontrándose Colombia en el primer puesto encontrándose artículos como Londa & Carraco (2018), Sarmiento et al. (2014) y Grey Castellar et al. (2013), artículos encontrados sobre carbón activado entre los años 2010-2022 de los cuales , seguido por Venezuela con 4 (Sarmiento, 2019; Agudelo, 2017; García, et al. 2012; Oriz, et al. 2020), cabe también resaltar que el artículo más reciente fue en el 2021 en Ecuador (Macías, 2021) donde se tuvieron en cuenta características físico-químicas como humedad, pH, Densidad aparente, Cenizas y Material volátil, aunque la mayoría de los datos recolectados indicaron que las pruebas que más

se realizan es de Humedad, cenizas y material volátil respectivamente.

Las características físico químicas para la humedad, cenizas y material volátil respectivamente en la cáscara de coco con 8.50%, 1,30 y 68,70 y cuesco de palma 7.30%,1,60 y 72,70 tienen un comportamiento favorable para un carbón activado (CA) (Macias, 2021) como medio de aplicación se utilizó en la adsorción de fenol, por el cual también se encontraron características fisicoquímicas en el cual se encontraron 12% H, 6 pH, 20% cenizas y 50% material volátil, aplicando en tratamientos de aguas, los datos que se encuentran en la anterior investigación sus resultados fueron alejados a los realizados en la investigación propuesta posiblemente por la materia prima a trabajar que fue lignina (Bastidas, 2010), aunque mediante una comparación entre los resultados obtenidos se obtiene una mayor estabilidad el carbón activado con la cacota de cacao ya que las características fisicoquímicas presentaron un mejor comportamiento en cada una de las distintas temperaturas trabajadas que con la lignina. Por otro lado, también se ha encontrado un carbón activado más cercano a datos obtenidos mediante activación química con unos datos encontrados según (Carmen Sarmiento, 2009) 3,12H, 6,32 de cenizas y 37,53 en material volátil, Aplicándose

en la industria en adsorción de azul de metileno, yodo, fenol y benceno (Contreras, et al. 2019).

Teniendo en cuenta que la adsorción de azul de metileno y de yodo aumenta cuando el tamaño de la partícula de carbón es menor. Aunque también se han realizado estudios comparativos entre el cacao y el coco encontrándose con las características fisicoquímicas según realizando pruebas como la humedad en el cacao 15,41% y coco 9,84%, densidad aparente cacao 0,40 y coco 0,23 y cenizas cacao 27,12 y coco 12,3. aplicando el carbón activado obtenido para la adsorción de azul de metileno. Encontrando investigaciones en se encontraron datos para humedad con 2,70%, densidad aparente 0,3072, cenizas 17,5 en el cual la materia prima bagazo de la caña de azúcar por el cual sus características físico químicas lo hacen aceptable para tener una mejor capacidad de adsorción y aplicando para absorción de químicos tales como fenol. 2-clorofenol, 2-nitrofenol y 2,4-dimeüifeno (Fierro, 2012).

Por el cual los resultados encontrados para humedad, cenizas, material volátil, carbono fijo, están en los rangos establecidos según la ASTM D-2867, ASTM D3174, ASTM D3175-07, ASTM D 4607 respectivamente, encontrándose que en la mayoría de las aplicaciones en las

industrias del carbón activado se realizaron en la adsorción de químicos como azul de metileno el más común, aunque también se implementaron para fenol. 2-clorofenol, 2-nitrofenol y 2,4-dimeüifeno, ácido salicílico, ácido benzoico.

Los resultados obtenidos mediante la caracterización de la cacota de cacao y la obtención de carbones activados a diferentes temperaturas mediante activación química han revelado datos prometedores y alentadores para la industria. La cacota de cacao, un residuo lignocelulósico, ha demostrado ser una materia prima viable para la obtención de materiales carbonosos con propiedades fisicoquímicas dentro de los rangos óptimos para su aplicación industrial. Los análisis detallados, que incluyen la humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo, muestran resultados que cumplen con las normativas ASTM, asegurando la calidad y eficiencia de los carbones activados obtenidos.

La influencia de la temperatura y el tiempo de residencia en el proceso de carbonización y activación se ha evaluado meticulosamente, proporcionando información valiosa sobre el rendimiento de los diferentes tratamientos. La eficiencia del método aplicado se refleja en los porcentajes de rendimiento, destacando la importancia de la optimización de estas variables en la obtención de carbones activados de alta

calidad.

Al comparar los resultados con estudios previos y datos recopilados de diferentes países, se observa que la investigación propuesta abre nuevas posibilidades en términos de características fisicoquímicas y aplicaciones industriales. La cacota de cacao presenta ventajas notables en comparación con otras materias primas, y los carbones activados obtenidos exhiben propiedades que los hacen prometedores para diversas aplicaciones, desde la adsorción de compuestos químicos hasta la purificación del agua.

En este contexto, la relevancia de esta investigación para la industria radica en su capacidad para ofrecer una solución innovadora y sostenible para la gestión de residuos agrícolas, al mismo tiempo que proporciona materiales carbonosos con potencial aplicación industrial. Este enfoque no solo contribuye a la mitigación de la acumulación de residuos, sino que también promueve prácticas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente en la obtención de materiales de alto valor. La cacota de cacao, hasta ahora considerada un subproducto, emerge como una valiosa materia prima para la producción de carbones activados, abriendo nuevas perspectivas en la industria

agroindustrial y la gestión sostenible de recursos.

CONCLUSIONES

Mediante la caracterización de la cacota de cacao, se concluyó que al determinar las características del material precursor, permite proyectar el tipo de carbón activado a obtener teóricamente, debido a que estas características están relacionadas con la calidad y propiedades del material carbonoso, como se puede evidenciar en este proyecto, ya que, propiedades como la humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo, influyen de manera directa en el resultado final, el material volátil, representa gran importancia, ya que entre mayor sea en el precursor, presentará mayor porosidad en el carbón activado, debido a su elevado porcentaje de material volátil, permitiendo adquirir teóricamente una viabilidad para la obtención de carbón activado con porosidad desarrollada.

Mediante activación química, se obtuvieron tres carbones activados con porosidad desarrollada C1, C2 y C3, mediante la impregnación de H₃PO₄ y la carbonización. Dicho esto, se puede definir que las características obtenidas por el carbón activado y su finalidad son netamente no aptas para actividades que conlleven al consumo humano, debido a la acidificación a la cual fue sometida, esto permite establecer una ruta de

dichas finalidades para el aprovechamiento de este producto.

Mediante la caracterización de los materiales carbonosos se identificó el proceso más efectivo, siendo así el de proceso del C3 el más adecuado, ya que se acopla con las condiciones establecidas según la ASTM D-2867 y NTE INEN 1991 para un carbón activado de buena calidad, como se pudo evidenciar en los resultados obtenidos y mediante estas propiedades se puede identificar si el carbón activado tiene las características favorables para una buena capacidad de adsorción y número de yodo.

Las investigaciones que se han realizado en Colombia sobre el carbón activado en comparación con otros países son incipientes en comparación con otros países. Los resultados obtenidos con la cacota de cacao son favorables respecto a otras materias primas para la obtención del carbón activado consiguiendo un producto de mejor calidad en cuanto a sus propiedades.

REFERENCIAS

Agudelo, B. (2017). Estandarización de proceso

de producción de carbón activado por activación física a partir de casco de palma a escala industrial. Colombia. *Fundación universidad de America*.

Albis, A., Lopez, A., & Romero, M. (2017). Remoción de azul de metileno en soluciones acuosas utilizando cascaras de yuca (*Manihot esculenta*) modificada con ácido fosforico. *151(2)*, 64-87.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2000). *ASTM D3174. Métodos de prueba estándar para cenizas en el análisis de la muestra de carbón y coque*. Estados Unidos.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2007). *ASTM D3172-07. Practica estándar para el análisis proximal de carbón y coque*. Estados Unidos.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2007). *ASTM E 1755-1. Métodos de prueba estándar para ceniza de la biomasa*. Estado Unidos.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2011). *ASTM D3173-11. Métodos de prueba estándar para la humedad en el análisis de la muestra de carbón y coque*. Estados Unidos.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2013). *ASTM E872-82. Métodos de prueba estándar para la materia volátil en el análisis de combustibles de partículas de madera*. Estados Unidos.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2016). *ASTM D4442-16. Métodos de prueba estándar para la medición de contenido de humedad directa*

de la madera y materiales de madera.
Estados Unidos

Asimbaya, C.; Rosas, N.; Endara, D.; Guerrero, V.H. (2016). Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto Revista Politécnica, vol. 36, núm. 3, abril-septiembre, 2016, <https://www.redalyc.org/pdf/6887/688773647004.pdf>.

Bastidas, Marlon, L. M. (2010). Producción de carbón activado a partir de precursores carbonosos del Departamento de Cesar, Colombia. *Scielo*, 87-96.

Carmona Arce, M., & Carrion Rosales, H. (2015). otencia de la prueba estadística de normalidad jarque-bera frente a las pruebas de anderson-darling, jarque-bera robusta, chi-cuadrada, chen-shapiro y shapiro-wilk. 28-42. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/94337>

Carrasco, B. & Londa, E. (2018). Obtención de carbón activado a partir de cáscara de "*Cocos Nucifera* L". *Universidad de Cuenca*, 114-115.

Chavez-Guerrero, L., Rangel-Mendez, R., Munoz-Sandoval, E., Cullen, D., Smith, D., & Terrones, H. (2018). Production and detailed characterization of bean husk-based carbon: Efficient cadmium (II) removal from aqueous solutions. *Water Research*, 42-67.

Cliate-data.org. (2019). *condiciones climáticas de Villavicencio, meta, Colombia*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/meta/villavicencio-5327/>

Contreras Jefferson. Heberto Fuenmayor. Marinela Colina, A. D. (2008). Capacidad adsortiva del carbón activado preparado a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de fenol, 2-clorofenol, 2-nitrafenol y 2,4-dimetilfenol. 111-121.

Fierro, M. C. (2012). *Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas*. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid.

Filippin, A., Luna, N., Pozzi, M., & Perez, J. (2017). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícos por activación física. *Universidad Nacional de Caramarca*, 68

Florez, R. (2018). Obtención y carcterización de carbones activados a partir de residuos agroindustriales. 80.

García, Julián Camilo, María Paula Castellanos, Ángela Uscátegui , Jorge Fernández , Aura Marina Pedroza , Carlos Enrique Daza. (2012). Remoción de colorantes sintéticos mediante el proceso Fenton heterogéneo usando Fe₂ O₃ soportado en carbón activado obtenido a partir de residuos de rosas. *Universitas Scientiarum*

González Martínez, Grethel Alexandra y Villalobo Peña, Williana Elizabeth (2020) *Estudio del proceso de obtención de carbón activado a partir de la cáscara de cacao criollo (Theobroma cacao)*, UNAN-Managua, Agosto-Diciembre 2020. Otra tesis, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/14640>

González, B. (2017). Desarrollo de carbón

activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico. *Universidad de Chile*, 52.

Herrera Rengifo, J. D., Villa Prieto, L., Olaya Cabrera, A. C., & García Alzate, L. S. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista ION*, 33(2), 25–34. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020002>

Macias Cedeño, G. M. (2021). Aprovechamiento de residuos de cáscara de cacao en la obtención de carbón activado para ser usado como medio filtrante. Ecuador. *Uteq*

Mejía M., V. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica*, 411-419.

Oriz, Eduard Maita, Liliana Murillo, Eury Castillo.(2020). Obtención de carbón activado por tratamiento térmico como alternativa de aprovechamiento de la cascara de *Theobroma cacao*, L. Venezuela.

Ospina, V., Buitrago, R., Lopez, D. (2013). Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuerilla, Colombia, *Tecnológicas*, 75-84

Panak Balentić J, Ačkar Đ, Jokić S, Jozinović A, Babić J, Miličević B, Šubarić D, Pavlović N. Cocoa Shell: A By-Product with Great Potential for Wide Application. *Molecules*. 2018 Jun 9;23(6):1404. doi: 10.3390/molecules23061404. PMID: 29890752; PMCID: PMC6099939.

Piñeros-Castro, Y. (2014). *Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica, algunas experiencias de investigación en Colombia* (1st ed.). Universidad Jorge Tadeo Lozano. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2rcnqc5>

Rojas, F. & Sanchez, E. (2015). Federación Nacional De Cacaoteros. Obtenido de Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural. Recuperado: http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacaopubdoc_05B.pdf.

Roman, Y., Techeira, N., Yamarte, J., Ibarra, Y., & Fasendo, M. (2015). Caracterización físico-química y funcional de los productos obtenidos durante la extracción del almidón de musaceas, raíces y tubérculos. *Redalyc.org. Asociación Interciencia Venezuela*, 353-378.

Sarmiento, C., Sanchez, J., Garcia, C., Ricon, Y., Benitez, A., & Ramirez, J. (2014). Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral. *Scientific Journal from the experimental Faculty of Sciences*, 57.

Sarmiento, Carmen, J. S. (2019). Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral. 52-63.

Soares TF, Oliveira MBPP. Cocoa By-Products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. *Molecules*. 2022 Mar 1;27(5):1625. doi: 10.3390/molecules27051625. PMID: 35268725; PMCID: PMC8912039.

Soares, Thiago F., and M. Beatriz P. P. Oliveira. 2022. "Cocoa By-Products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects" *Molecules* 27, no. 5: 1625.

<https://doi.org/10.3390/molecules27051625>

Sevilla U. (2011). Manual del carbón activo. Aguapedia. org.

Uribe, L., Lopez, M., & Gonzales, A. (2013). Activación de carbón mineral mediante proceso físico en horno tubular horizontal y atmosfera inerte. *Revista de materiales* N.4, 32.

Vera Raza, B. B., Mero Intriago, R. A., Burgos Briones, G. A., & Cevallos Cedeño, R. E. (2022). Lignocellulosic waste and activated carbon production method. *Minerva, I(Special)*, 122-130. <https://doi.org/10.47460/minerva.v1iSpecial.87>