

# Síntesis de carbón activado a partir de las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para la clarificación de vino de nancite (*Byrsonima crassifolia*) Synthesis of activated carbon from banana peels (*Musa paradisiaca* L.) for the clarification of nancite wine (*Byrsonima crassifolia*)

J. L. Prado Arróliga 

<sup>a</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Rotonda Rigoberto López Pérez 500 m al sur, Managua, C.P. 663, Nicaragua.

## Resumen

En este estudio se evaluó la síntesis y aplicación de carbón activado (CA) a partir de cáscara de plátano como precursor lignocelulósico, mediante activación química con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). El precursor presentó un 1,13% de humedad y 98,87% de materia seca, lo que favoreció la impregnación uniforme del agente activante. Su composición en base seca (74% de material volátil, 14% de carbón fijo y 12% de cenizas) contribuyó al desarrollo de poros y a la estabilidad estructural del CA. Se optimizaron las condiciones de síntesis, utilizando una concentración de  $H_3PO_4$  al 25%, temperatura de carbonización de 600 °C y un tiempo de 120 minutos. Los carbones obtenidos alcanzaron superficies específicas entre 420 y 1100 m<sup>2</sup>/g, el contenido de cenizas fue menor al 15%, y algunas muestras presentaron materias solubles en agua (MSA) inferiores al 5 %. Los valores de punto de carga cero (PZC) y densidad aparente también fueron adecuados para aplicaciones adsorbentes. Finalmente, el tratamiento del vino artesanal de nancite (*Byrsonima crassifolia*) con el CA-3 incrementó significativamente su claridad, elevando la transmitancia del 9,4 % (vino sin tratar) hasta 90,9 % tras 120 minutos de contacto. Estos resultados confirman el potencial del carbón activado de cáscara de plátano como material eficiente, económico y sostenible para procesos de purificación de líquidos.

**Palabras Clave:** Carbón activado, clarificación, vino de nancite, cáscara de plátano.

## Abstract

In this study, the synthesis and application of activated carbon (AC) derived from banana peel as a lignocellulosic precursor was evaluated, using chemical activation with phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ). The precursor exhibited a moisture content of 1,13% and 98,87% dry matter, which favored uniform impregnation of the activating agent. Its dry basis composition (74% volatile matter, 14% fixed carbon, and 12% ash) contributed to pore development and the structural stability of the AC. The synthesis conditions were optimized by employing a 25%  $H_3PO_4$  concentration, a carbonization temperature of 600 °C, and a duration of 120 minutes. The resulting activated carbons reached specific surface areas ranging from 420 to 1100 m<sup>2</sup>/g. Ash content remained below 15%, and some samples exhibited water-soluble matter (WSM) values under 5%. Additionally, the point of zero charge (PZC) and bulk density values were appropriate for adsorption applications. Finally, the treatment of artisanal nancite (*Byrsonima crassifolia*) wine with AC-3 significantly improved its clarity, increasing light transmittance from 9,4% (untreated wine) to 90,9% after 120 minutes of contact. These findings confirm the potential of banana peel-based activated carbon as an efficient, low-cost, and sustainable material for liquid purification processes.

**Keywords:** Activated carbon, clarification, wine from nancite, banana peel.

## 1. Introducción

El cultivo de plátano en Nicaragua es un sector agrícola importante, con aproximadamente 23,000 manzanas dedicadas

a su producción en 2022, según el Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa (2020). Las variedades más cultivadas son Cuerno Gigante, Cuerno Enano y Cernisa <sup>3/4</sup>. Sin embargo, este cultivo genera una gran cantidad

\*Autor para la correspondencia: jose.prado@unan.edu.ni

Correo electrónico: jose.prado@unan.edu.ni (José Luis Prado Arróliga)

de residuos orgánicos, principalmente cáscaras de plátano, que representan cerca del 35% del peso total de la fruta. A pesar de que la cáscara es rica en compuestos bioactivos (Bhavani et al., 2023) y actúa como una barrera protectora, su manejo en el país es deficiente, ya que "suelen desecharse sin un manejo adecuado" (Navarro et al., 2021). La mayoría de estos residuos se utilizan en prácticas rudimentarias, como abono orgánico o alimento para ganado, o simplemente se desechan.

En los últimos años, ha crecido el interés en darle un valor agregado a los subproductos agrícolas (Instituto Tecnológico de la Producción, 2023). Recientes estudios consideran a la cáscara de plátano como una materia prima potencial para diversas industrias, como la textil, alimentaria y cosmética. Su composición química la hace ideal para el desarrollo de materiales adsorbentes, como el carbón activado (CA).

En Nicaragua, el CA es un producto vital para sectores como el tratamiento de agua, y las industrias farmacéutica y alimentaria. A pesar de la alta demanda, el país depende en gran medida de las importaciones, lo que genera costos significativos. Según datos de COMEX (2022), las importaciones de este producto superaron los USD 385,49 millones en el 2023. Esta situación ha incentivado la búsqueda de alternativas para producir CA a partir de materias primas locales, lo que podría reducir la dependencia del mercado externo.

El CA es un material sólido creado a través de la carbonización y activación de materia orgánica, especialmente de origen vegetal (Vidal et al., 2018). La efectividad del CA como adsorbente radica en sus propiedades únicas: alta porosidad y la presencia de grupos funcionales en su estructura. Estas características le permiten adherir a su superficie una amplia variedad de moléculas.

Actualmente, el CA es uno de los adsorbentes más utilizados a nivel mundial para eliminar contaminantes como metales pesados, colorantes textiles y gases de efecto invernadero (Medina et al., 2018; Ojeda et al., 2021). Además, en la industria alimentaria, se emplea como agente clarificante (Fito et al., 2014).

El uso del CA como agente clarificante es particularmente relevante para las pequeñas y medianas empresas de bebidas en Nicaragua, un sector en constante crecimiento. Un desafío común para estos productores es lograr que sus productos cumplan con los estándares de calidad que demandan los consumidores, como el brillo y las propiedades organolépticas deseadas. Muchos productores de vinos artesanales tienen problemas para comercializar su bebida debido a la presencia de sólidos suspendidos. En este contexto, el desarrollo y uso de CA producido localmente como material clarificante podría ser una solución innovadora y rentable.

Dadas las consideraciones previamente mencionadas, este trabajo tiene como objetivo sintetizar CA a partir de la cáscara del plátano en estado verde. En el proceso de síntesis se estudió la temperatura y tiempo de carbonización, así como la concentración de agente activante. Las tres variables fueron estudiadas en combinación y bajo tres niveles a través del método Taguchi. Finalmente, los CA obtenidos se caracterizaron y se emplearon como agentes clarificantes de vino artesanal de nancite (*Byrsonima crassifolia*).

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Preparación y caracterización de la cáscara de plátano

Para el desarrollo de la investigación se implementaron métodos técnicos que comprende inicialmente la preparación y caracterización de materia prima (Figura 1), donde fueron recolectados 3 kg de cáscaras de plátano Cuerno Gigante (*Musa paradisiaca* L.) verde secadas al aire libre durante 3 días hasta una humedad  $\leq 10\%$ .

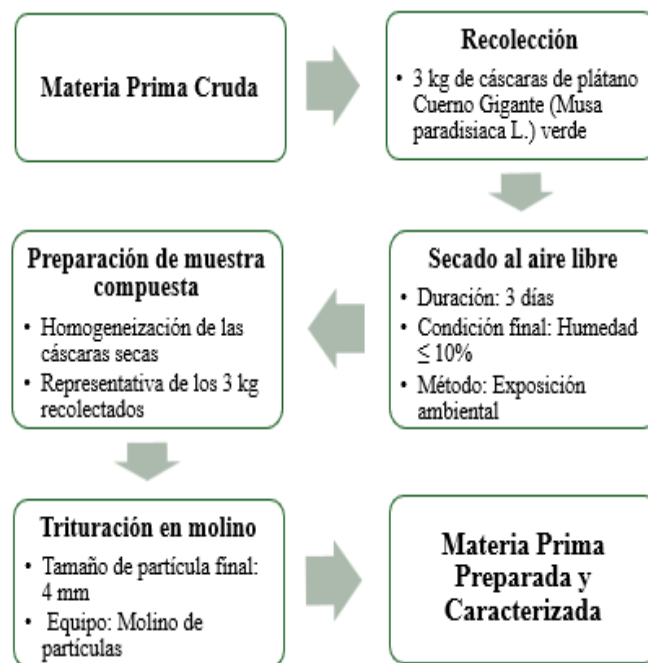


Figura 1. Preparación de las cáscaras de plátano.

Se preparó una muestra compuesta, triturada en un molino hasta obtener un tamaño de partícula de 4 mm. Posteriormente, se caracterizó mediante los siguientes análisis: i) Materia seca (método de secado en estufa) (1), ii) Humedad por el método indicado en la ISO 6540:2001 (International Organization for Standardization, 2012), iii) Cenizas totales como indica la ISO 2171:2007 (International Organization for Standardization, 2007) (2), iv) Material volátil (Council for Mineral Technology, 1987) (3) y v) Carbono fijo en base a la ASTM D 3172-89 (American Society for Testing and Materials, 2002) (4).

$$\%MS \left( \frac{m}{m_1} \right) = \frac{\bar{m}_2 - \bar{m}_0}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\%CT = \frac{\bar{m}_2 - \bar{m}_0}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

$$\%MV = \frac{\bar{m}_2 - \bar{m}_0}{\bar{m}_1 - \bar{m}_0} \times 100\% \quad (3)$$

$$\%CF = 100\% - (\%MV + \%CT) \quad (4)$$

Donde;  $P_T$ : peso total de la muestra;  $P_{BM}$ : peso del Beaker más la muestra;  $P_{BV}$ : peso del Beaker vacío;  $MS$ : materia seca;  $\bar{m}_0$ : masa promedio de la cápsula de porcelana vacía;  $m_1$ : masa de la muestra;  $\bar{m}_2$ : masa de la cápsula de porcelana más la muestra desecada;  $CT$ : cenizas totales;  $MV$ : material volátil y  $CF$ : carbono fijo.

### 2.2. Síntesis de CA

La materia prima se somete a un proceso de preparación y activación en varias etapas:

- Secado: La muestra inicial se secó a una temperatura de 100 °C durante 4 horas para eliminar la humedad.
- Impregnación: Se tomaron 8 g de la muestra seca y se impregnaron con una solución de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Durante esta etapa, la relación entre la masa de la muestra y el volumen de la solución se mantuvo constante en 1:3, mientras que la concentración del ácido fue la única variable ajustada.
- Carbonización y Activación: El material impregnado se sometió a un proceso de carbonización en una mufla. Las variables de este proceso, como la temperatura y el tiempo, se ajustaron según un diseño de experimento de tres niveles.
- Lavado: Después de la activación, los materiales se lavaron con agua destilada hasta que alcanzaron un pH de 7 (aproximadamente).

El resultado de este proceso, que combinó distintas variables experimentales, fue la obtención de nueve muestras de CA. Estos materiales se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño de experimento para la síntesis de los CA

CA	T (°C)	t (min)	[H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ]
CA-1	600	30	35
CA-2	600	60	30
CA-3	600	120	25
CA-4	500	30	30
CA-5	500	60	25
CA-6	500	120	35
CA-7	300	30	25
CA-8	300	60	35
CA-9	300	120	30

### 2.3. Caracterización de los CA

Los CA se caracterizaron por el método del índice de yodo como indica la ASTM D4607-94 (American Society for Testing and Materials, 2006), para obtener un aproximado de la  $S_{BET}$  (5). Además, se evaluaron otros parámetros como el contenido total de cenizas conforme la ASTM D2866-11 (American Society for Testing and Materials, 2011) (6), materiales solubles en agua (MSA) (7), punto de carga cero (PZC) y densidad aparente (American Society for Testing and Materials. (2019) (8).

$$\left. \begin{aligned} \frac{x}{c} &= [A - (DF)(B)(S)]/M \\ \{Y &= m * 0,02 \text{ mg/g} + b\} \\ \text{Área Superficial} &= \{\text{Número de } I_2 + 100 \text{ m}^2/\text{mg}\} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_{\text{crisol+ceniza}} - m_{\text{crisol}}}{m_{\text{crisol+muestra}} - m_{\text{crisol}}} * 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ Materias Solubles en Agua} = \frac{(B-A)*D*100}{C*E} \quad (7)$$

$$D_a = \frac{m_p + m - m_{pv}}{V} \quad (8)$$

Donde, M: peso del carbón activado; DF: factor de dilución según norma ASTM D4607-94 (American Society for Testing

and Materials, 2006); B: tiosulfato residual; A: concentración residual de yodo; S: volumen de tiosulfato de sodio; A: masa de capsula de evaporación; B: masa de capsula de evaporación más residuo; C: masa de carbono; D: volumen de agua utilizado en la extracción; E: volumen de la alícuota empleada;  $D_a$ : densidad aparente;  $m_{p+m}$ : masa de la probeta con la muestra;  $m_{pv}$ : masa de la probeta vacía y V: volumen.

### 2.4. Aplicación: Clarificación de vino de nancite

Se tomo como muestra de vino de nancite *Chorotega* producido por el emprendimiento Cooperativa HIBISCUS, para el cual las condiciones del vino artesanal de nancite: Sabor y aroma dulce y afrutado, con un característico resabio amargo que se acentuado por el uso del fruto inmaduro al momento de la elaboración; presenta un color amarillo intenso, propio del fruto maduro; un pH inicial de 3,5; acidez titulable del 1,52% (15,2 g/L); el contenido alcohólico era de 12 % v/v. Los ensayos de clarificación de vino de nancite artesanal se realizaron tomando 0,10 g de las muestras CA-3, cada una se puso en contacto con 100 mL de vino, a diferentes tiempos de agitación 30, 60 y 120 min) y temperatura ambiente. Después del reposo, se tomaron alícuotas del vino para medir su transmitancia en un espectrofotómetro UV-Vis (Perkin Elmer Lambda EZ201), a una longitud de onda entre 400-700 nm. Estos ensayos fueron realizados por triplicado, los diferentes tratamientos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tratamiento de clarificación de vino de nancite con el CA-3

Muestra	Tratamiento	Tiempo de contacto con agitación (min)
CA-3	1	30
	2	60
	3	120

## 3. Resultados y discusión

De los 8 kg de plátano Cuerno Gigante recibidos de la finca El Estrecho, se separaron las cáscaras mediante pelado, obteniendo un promedio de 270,52 g por unidad, de los cuales 102,22 g correspondieron a cáscara. En total, las 30 unidades aportaron 3 066,6 g ( $\approx$  3 kg) de cáscara, utilizadas para los ensayos de extracción. El secado se realizó a la aire libre durante 2 – 3 días, seguido de la determinación del contenido de humedad mediante termobalanza, tanto en cáscara fresca como seca.

En la Tabla 3 se visualiza que la cáscara fresca presentaba un 53,18 % de humedad y un 46,78 % de sólidos totales, lo que evidencia la necesidad de un secado previo para estabilizar la materia prima y mejorar las condiciones de síntesis de los CA.

Tabla 3. Contenido de humedad en muestras de cáscaras frescas

#	Tiempo	T (°C)	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	UM %	RS%
1	70	78	3,039	1,474	51,52	48,48
2	70	78	3,015	1,456	51,59	48,31
3	70	78	3,030	1,456	56,44	43,56
Media	70	78	3,028	1,462	53,183	46,783
SD			12,124	10,392	0	0

Por otro lado, el proceso de secado se realizó en la muestra compuesta para garantizar un nivel óptimo de humedad ( $\leq 10\%$ ) antes de su uso. Se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Contenido de humedad en muestras de cáscaras secas.

#	aTiempo	T (°C)	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	UM %	RS%
1	PPS	50	3,037	3,007	1,03	98,97
2	PPS	50	3,003	2,975	0,95	99,05
3	PPS	50	3,027	2,984	1,41	98,59
Media	-	50	3,023	2,987	1,13	98,87
SD	-	-	0,017	0,0165	0,245	0,2457

La cáscara de plátano secada al 1,13 % de humedad presentó 98,87 % de materia seca. La activación química se favorece por este bajo contenido de agua, que permite una impregnación homogénea del agente activante y evita reacciones no deseadas. La composición en base seca (cenizas 12 %, material volátil 74 %, carbón fijo 14 %) determina la formación de poros y la estabilidad estructural del carbón activado, asegurando un producto final con alta área superficial, pureza y capacidad de adsorción.

En la Tabla 5 se presentan los resultados de las distintas caracterizaciones realizadas a los nueve CA.

Tabla 5. Determinación de parámetros de calidad de los nueve CA

CA	SBET <sup>1</sup> (m <sup>2</sup> /g)	Cenizas (%) <sup>2</sup>	MSA (%) <sup>3</sup>	PZC <sup>4</sup>	$\rho_{\text{aparente}}^5$ (g/mL)
1	980	11,5	88,5	4,3	0,45
2	1050	11,0	89,0	4,5	0,43
3	1080	10,8	89,2	4,6	0,42
4	750	12,0	88,0	4,7	0,50
5	820	11,8	88,2	4,8	0,48
6	860	11,6	88,4	4,5	0,47
7	420	13,0	87,0	5,0	0,60
8	460	12,8	87,2	4,9	0,58
9	480	12,5	87,5	4,8	0,57

<sup>1</sup>Metodo de índice de yodo. <sup>2</sup>ASTM D2866-11. <sup>3</sup>ASTM D5029-98 /2014.

<sup>4</sup>Mustafa, Dilara, Nargis, Naeem, & Shahida (2002). <sup>5</sup>ASTM D-2854-09.

Se realizó la activación bajo los criterios presentados en la Tabla 5 de caracterización de los CA. Donde los resultados indican que el  $S_{\text{BET}}$  más alto es en las muestras a 600 °C (máximo 1080 m<sup>2</sup>/g en CA 3); las cenizas representan impurezas, siendo menores en CA 3 (10,8%), lo que mejora la pureza; la MSA refleja la fracción de carbono activo, más alta también en CA 3 (89,2%); el PZC ligeramente ácido (4,3 – 4,6) favorece la adsorción de solutos cargados; y la densidad aparente indica porosidad, siendo más baja en CA 3 (0,42 g/mL) y evidenciando su estructura altamente porosa. En conjunto, CA 3 (600 °C, 120 min, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 25%) es la muestra de mejor calidad. En la figura 2 se presentan los contrastes entre los parámetros de calidad de los C. En la Figura 2a se evidencia cómo la superficie específica ( $S_{\text{BET}}$ ) presenta un comportamiento decreciente a medida que aumenta el número de muestra de CA. Las muestras CA-1, CA-2 y CA-3 alcanzan los valores más altos de área superficial, superiores a los 1 000 m<sup>2</sup>/g, mientras que a partir de la muestra CA-4 en adelante se observa una disminución progresiva, alcanzando mínimos en torno a 420 – 460 m<sup>2</sup>/g para las muestras CA-7, CA-8 y CA-9. El color de los puntos, que representa la temperatura de

activación, sugiere que las muestras con mayor  $S_{\text{BET}}$  fueron aquellas sometidas a temperaturas más elevadas. Esto indica una correlación directa entre la temperatura y el desarrollo de la porosidad en los carbones activados (Kwiatkowski et al., 2021).

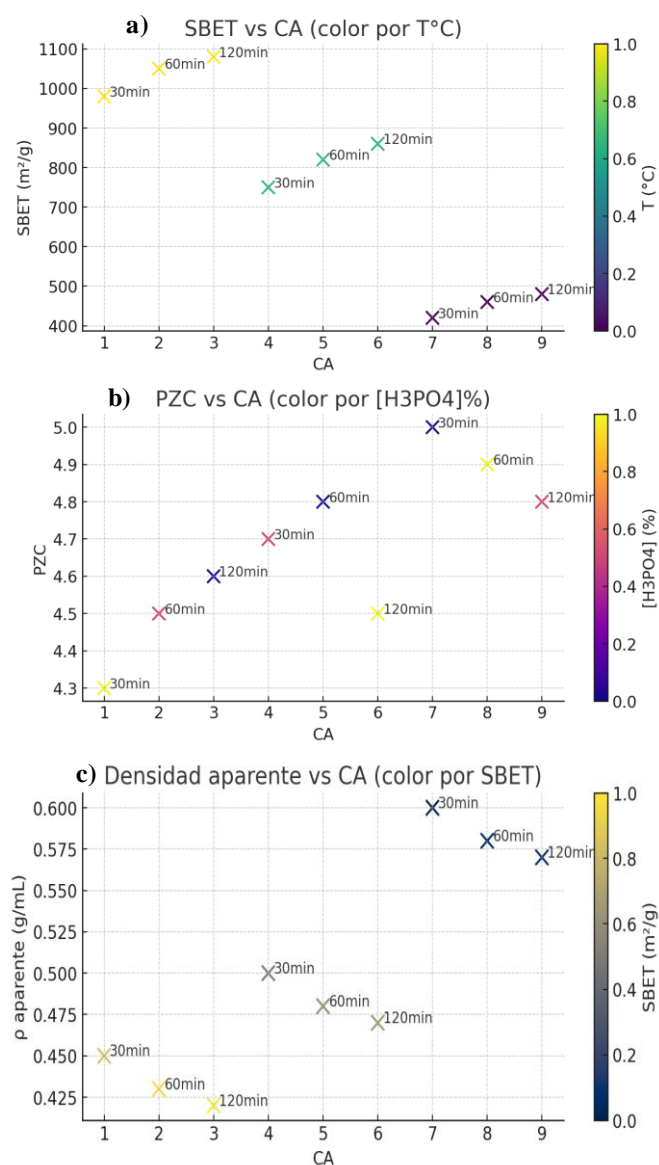


Figura 2. Análisis de las características de los CA

Asimismo, aunque el tiempo de activación (indicado junto a cada punto) también influye, su efecto parece secundario frente al impacto de la temperatura. En conjunto, estos resultados confirman que condiciones térmicas más severas favorecen la formación de estructuras altamente porosas, lo cual es deseable en aplicaciones de adsorción.

La Figura 2b permite analizar el PZC con respecto a cada muestra de CA, utilizando el color como indicador de la concentración del agente activante (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Se observa un comportamiento no lineal, con valores de PZC que oscilan entre 4,3 y 5,0. La muestra CA-7 presenta el valor más alto de PZC, lo que indica una superficie más básica, mientras que las muestras CA-1 y CA-6 muestran valores más bajos, próximos a 4,3–4,4, lo que se asocia con una superficie más ácida. Este comportamiento parece estar influenciado por la concentración de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> utilizada en el proceso de activación, ya que los



colores más claros (indicativos de una mayor concentración) se corresponden con los puntos de menor PZC.

En particular, CA-6 fue tratada durante más tiempo con alta concentración de agente activante, lo que puede haber intensificado la acidez superficial. En términos de funcionalidad, las muestras con PZC bajos tienden a favorecer la adsorción de especies catiónicas, mientras que aquellas con PZC más elevados podrían ser más efectivas en la captura de aniones (Guilhen et al., 2022).

En la Figura 2c se muestra la relación entre la densidad aparente y las muestras de CA, utilizando el color para representar los valores de  $S_{BET}$ . En general, no se observan variaciones significativas en la densidad aparente entre las diferentes muestras, ya que todas se mantienen dentro del intervalo de 0,42 a 0,60 g/mL. No obstante, es posible identificar una ligera tendencia inversa entre la densidad aparente y la superficie específica: las muestras que presentan mayor área superficial (CA-1 a CA-3), marcadas con tonos más claros, también exhiben densidades más bajas. Por el contrario, las muestras con menor  $S_{BET}$ , como CA-7 a CA-9, presentan densidades aparentes más altas.

Este comportamiento es coherente con la formación de estructuras más porosas, donde un mayor volumen de poros internos implica una reducción en la masa por unidad de volumen. Aunque todas las muestras se mantienen en un rango aceptable según normas técnicas, esta relación sugiere que un mayor desarrollo poroso puede implicar compromisos en cuanto a la compacidad del material, lo cual es importante en el diseño de sistemas de lecho fijo para adsorción.

Los resultados obtenidos en el estudio de las muestras de CA muestran un comportamiento diferenciado según las condiciones de activación térmica y química empleadas. En primer lugar, los valores de superficie específica ( $S_{BET}$ ) alcanzaron máximos superiores a 1000 m<sup>2</sup>/g en las muestras CA-1, CA-2 y CA-3, indicando un alto desarrollo poroso. Estos valores son adecuados para procesos de adsorción, sin embargo, se puede inferir que las muestras CA-7, CA-8 y CA-9, no cumplen con los criterios de la norma ASTM D4607-94, que establece un rango de 500 a 1200 mg/g. Sin embargo, las muestras CA-7, CA-8 y CA-9, con superficies por debajo de 500 m<sup>2</sup>/g, podrían no satisfacer este requerimiento, lo cual limita su aplicabilidad en ciertos procesos de purificación (American Water Works Association, 2011).

De forma analítica con relación a los datos de la Tabla 5, respecto al contenido de cenizas, se indica que todas las muestras evaluadas se encuentran dentro del límite permitido por la norma ASTM D2866-11, que establece un valor máximo del 15%. Esto sugiere una buena estabilidad térmica y una baja presencia de residuos inorgánicos que podrían interferir en procesos de adsorción.

En cuanto a las materias solubles en agua (MSA), los datos referenciados indican que las muestras CA-3, CA-4 y CA-8 cumplen con el límite inferior al 5 % recomendado por LENNTECH (2020), lo cuales un indicador de pureza química y calidad del carbón activado, ya que un bajo contenido de MSA reduce el riesgo de lixiviación de compuestos no deseados durante su uso.

Por otro lado, el análisis del punto de carga cero (PZC) muestra variaciones entre las distintas muestras, permitiendo inferir diferencias en la acidez o basicidad superficial. Las muestras CA-3, CA-4 y CA-8 presentan valores de PZC por encima de 4,7, lo cual sugiere una superficie con carácter

ligeramente básico, favorable para la adsorción de sustancias aniónicas. En contraste, las muestras como CA-1 y CA-6 muestran PZC más bajos (4,3 – 4,4), lo que indica una superficie más ácida, y, por ende, mayor afinidad hacia contaminantes catiónicos.

Finalmente, los valores de densidad aparente se mantuvieron dentro del rango de 0,42 a 0,60 g/mL. De acuerdo con la norma ASTM D2854-09, el valor mínimo recomendado es 0,45 g/mL. Bajo este criterio, las muestras CA-3, CA-4, CA-8 y CA-9 cumplen satisfactoriamente con este requisito. La densidad aparente influye directamente en el diseño de sistemas de tratamiento, ya que determina el volumen de material requerido para una cama de adsorción. Una menor densidad implica la necesidad de mayor volumen, pero también sugiere mayor porosidad y potencial de adsorción. En resumen, se escoge el CA número 3 con mejor calidad.

Como fue descrito previamente, en los ensayos de clarificación de vino de nancite se utilizó el CA-3. Estas muestras se eligieron para tener un CA con  $S_{BET}$  alta. En la Tabla 6 y Figura 3, se presenta la efectividad de la adsorción.

Tabla 6. Transmitancias de vino de nancite artesanal.

Muestra	Tiempo de Contacto	%T (570–590 nm)	Diferencia de %T (Muestra – Vino)
Blanco	-	100	-
Vino de Nancite	-	9,4	-
CA-3t1	30 min	72,8	63,4
CA-3t2	60 min	81,9	72,5
CA-3t3	120 min	90,9	81,5

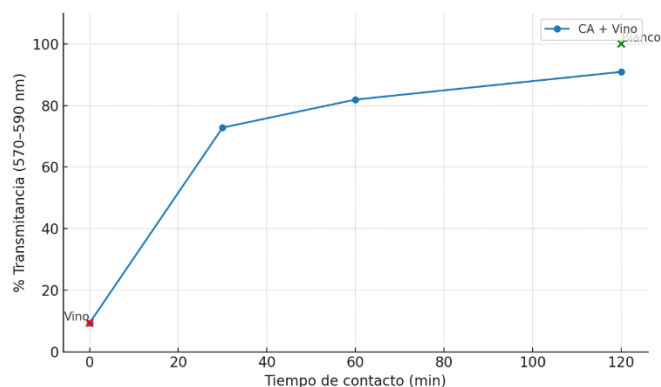


Figura 3. Transmitancia de luz (%T) del vino de nancite tratado con CA

El tratamiento del vino de nancite artesanal con CA generó un incremento notable en la transmitancia de luz en el rango de 570 – 590 nm, lo cual indica una mejora significativa en la claridad visual del producto. En condiciones iniciales, el vino sin tratar presentó una transmitancia del 9,4 %, evidenciando una alta turbidez, posiblemente asociada a la presencia de compuestos fenólicos, coloides o pigmentos naturales propios del fruto.

Al aplicar CA, se observó una tendencia creciente en la transmitancia a medida que se incrementó el tiempo de contacto. La muestra CA-3t1, con 30 minutos de contacto, logró elevar la transmitancia al 72,8 %, lo que representa una diferencia de 63,4 puntos porcentuales respecto al vino sin tratar. Este valor aumentó aún más en la muestra CA-3t2 (60

min), alcanzando un 81,9 %, mientras que el tratamiento más prolongado, CA-3t3 (120 min), obtuvo una transmitancia de 90,9 %, con una diferencia de 81,5 % respecto al vino original.

Estos resultados reflejan una efectividad creciente del carbón activado en la remoción de compuestos que interfieren con la claridad del vino, como colorantes naturales, taninos y otras sustancias orgánicas complejas (Wang et al., 2025). La gráfica (Figura 3) refuerza esta observación, mostrando una curva ascendente de transmitancia en función del tiempo de contacto, con una pendiente más marcada entre los primeros 30 y 60 minutos, y una menor variación entre los 60 y 120 minutos, lo cual podría indicar una cercanía al punto de saturación del CA en términos de capacidad adsorbente.

Por lo tanto, la aplicación de carbón activado mejora significativamente la claridad del vino de nancite, siendo el tratamiento de 120 minutos el más efectivo. Sin embargo, los resultados obtenidos a los 60 minutos ya muestran una transmitancia por encima del 80 %, lo cual sugiere que este tiempo podría considerarse óptimo desde un punto de vista técnico y económico, evitando prolongaciones innecesarias del proceso.

Es importante mencionar que se realizaron análisis fisicoquímicos y estabilidad sensorial evaluada bajo almacenamiento a 20-25°C por hasta 2 meses, donde se observa mínima variación en sabor (retención >90% de compuestos volátiles), color mucho más claro, límpido y perdió la mayor parte de su color amarillo intenso original, pH de 3,4; acidez titulable del 1,50% (15 g/L); el contenido alcohólico era de 12 % v/v, no presento sedimentos ni partículas en suspensión, lo que evidencia una adecuada conservación y efectividad del tratamiento aplicado. En contraste, los tratamientos CA-3t1 y CA-3t2 mostraron la presencia de sedimentos, indicando una menor estabilidad del producto bajo las mismas condiciones de almacenamiento.

#### 4. Conclusiones

Los valores de superficie específica ( $S_{BET}$ ) superaron los 400 m<sup>2</sup>/g en todas las muestras, con máximos superiores a 1 080 m<sup>2</sup>/g en CA-1, CA-2 y CA-3. Estos niveles indican un alto grado de desarrollo poroso, adecuado para aplicaciones de adsorción. No obstante, según la norma ASTM D4607-94, que establece un índice de yodo entre 500 y 1200 mg/g, solo algunas muestras cumplen con los parámetros esperados, lo cual podría limitar el uso de ciertos CA en aplicaciones específicas.

Respecto al contenido de cenizas, los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permitidos por la norma ASTM D2866-11, lo cual confirma una adecuada estabilidad térmica y baja presencia de residuos inorgánicos. En relación con la materia soluble en agua (MSA), se identificó que las muestras CA-3, CA-4 y CA-8 cumplen con el límite establecido por Lenntech (2020), lo que garantiza una mayor pureza del adsorbente y menor riesgo de contaminación secundaria durante su uso. El análisis del punto de carga cero (PZC) mostró variaciones en la acidez superficial de los CA. Las muestras CA-3, CA-4 y CA-8, con PZC más altos, presentan una superficie con mayor afinidad hacia sustancias aniónicas, mientras que muestras como CA-1 y CA-6, con PZC más bajos, son más apropiadas para adsorber contaminantes catiónicos. Estas diferencias se atribuyen principalmente a la concentración del agente activante (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y al tiempo de

exposición durante el proceso de activación. En cuanto a la densidad aparente las muestras CA-3, CA-4, CA-8 y CA-9 cumplen con el valor mínimo estipulado por la norma ASTM D2854-09. Esta propiedad influye directamente en la cantidad de material requerido por unidad de volumen para formar lechos adsorbentes, por lo que mantener una densidad adecuada es fundamental para el diseño eficiente de sistemas de tratamiento.

Finalmente, en cuanto a la aplicación práctica del CA en la clarificación del vino de nancite, se observó un aumento progresivo en la transmitancia de luz (570–590 nm) a medida que se incrementó el tiempo de contacto. El vino sin tratar presentó una transmitancia de solo 9,4%, mientras que tras 120 minutos con carbón activado se alcanzó 90,9%. Esto demuestra una notable mejora en la claridad del producto, atribuida a la remoción de compuestos fenólicos, pigmentos y otros sólidos suspendidos. No obstante, el incremento entre los 60 y 120 minutos fue menor, lo que sugiere que 60 minutos podría considerarse un tiempo óptimo, maximizando la eficiencia sin extender innecesariamente el proceso.

#### Agradecimientos

UNAN-Managua, Área de Conocimiento de Ciencias Básicas y Tecnología, Departamento de Química, Asesores y Fondos en Conjunto.

#### Referencias

- American Society for Testing and Materials. (2006). *Determination of Iodine Number of Activated Carbon* (ASTM D4607-94). <https://osmindustrial.com/wp-content/uploads/2017/10/ASTM-D4607-Standard-Test-Method-for-Determination-of-Iodine-Number-of-Activated-Carbon.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2002). *Proximate Analysis of Coal and Coke* (ASTM D 3172-89). [https://www.kelid1.ir/FilesUp/ASTM\\_STANDARDS\\_971222/D3172.pdf](https://www.kelid1.ir/FilesUp/ASTM_STANDARDS_971222/D3172.pdf)
- American Society for Testing and Materials. (2011). *Total Ash Content of Activated Carbon* (ASTM D2866-11). <https://www.carbofull.com.sg/uploads/soft/191109/1-191109195505.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2019). *Apparent Density of Activated Carbon* (ASTM D2854 – 09). <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/104009/44201611e0314c35b575dd/d992163083/ASTM-D2854-09-2019-.pdf>
- American Water Works Association. (2011). *ANSI/AWWA B600-10: Powdered activated carbon*. <https://www.carbofull.com.sg/uploads/soft/191109/1-191109195519.pdf>
- Bhavani, M., Morya, S., Saxena, D., & Awuchi, C. G. (2023). Bioactive, antioxidant, industrial, and nutraceutical applications of banana peel. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 1277–1289. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2209701>
- Council for Mineral Technology. (1987). *Unrestricted Mintek Publications*. Randburg, South Africa: Council for Mineral Technology. ISBN 0-86999-911-7.
- COMEX. (2023). *Nosis*. COMEX. Recuperado de <https://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Nicaragua/carbon-activado-carbon-activado-materias-minerales-naturales-activadas-negro-de-origen-animalinclu/NI/3806>
- Fito, Pedro., Andrés, A., Argüelles, Á., Ortolá, María., (2014). Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA9. Universitat Politècnica de València, España.
- Guilhen, S. N., Watanabe, T., Silva, T. T., Rovani, S., Marumo, J. T., Tenório, J. A. S., Mašek, O., & de Araujo, L. G. (2022). Role of point of zero charge in the adsorption of cationic textile dye on standard biochars from aqueous solutions: Selection criteria and performance assessment. *Recent Progress in Materials*, 4(2), Article 010. <https://doi.org/10.21926/rpm.2202010>
- International Organization for Standardization. (2012). *Maize - Determination of moisture content (on milled grains and on whole grains)* (ISO 6540:2001)

- International Organization for Standardization. (2007). *Cereals, pulses and by-products — Determination of ash yield by incineration* (ISO 2171:2007)
- Instituto Tecnológico de la Producción. (2023). Aprovechamiento de subproductos del cultivo de plátano: Fibra y celulosa vegetal. CITE-Agroindustrial. <https://www.gob.pe/institucion/itp/informes-publicaciones/4760251-ec-001-2023-aprovechamiento-de-subproductos-del-cultivo-de-plátano-fibra-y-celulosa-vegetal>
- Kwiatkowski, M., Serafin, J., Booth, A. M., & Michalkiewicz, B. (2021). Computer analysis of the effect of activation temperature on the microporous structure development of activated carbon derived from common polypody. *Materials*, 14(11), Article 2951. <https://doi.org/10.3390/ma14112951>
- LENNTech. (2020). Lennsorb 101. Ficha técnica. Recuperado de <https://www.lenntech.com/Data-sheets/LENNSORB-101-EN-L.PDF>
- Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa (MEFCCA). (2020). *Estrategia para el incremento de la producción de los cultivos de plátano, banano y guineo 2019-2023*. <https://www.economiafamiliar.gob.ni/backend/vistas/doc/estrategia/documento869634.pdf>
- Navarro, R., Segura, O., Quezada, G., Mosso, J., Kammar, A., Lazcano, M., & Vera, O. (2021). Aprovechamiento de cáscara de plátano (*Musa sp.*) para consumo humano. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 71(Suplemento 1), Art. 410. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2021/suplemento-1/art-410/>
- Ojeda, R., Ramos, G., García, C., Azevedo, D., Guzmán, A., Felipe, C., (2021). Effect of Calcination Temperature and Chemical Composition of PAN-Derived Carbon Microfibers on N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> Adsorption. *Materials* 14, No. 14: 3914. DOI: 10.3390/ma14143914.
- Vidal, M.V., Suarez, A.R., Martínez, K., Ocampo, J., Barrios, W., (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Scientia et Technica*, Vol. 23, No. 03, págs. 411-419.
- Wang, Y., Chen, P., Wang, Z., Chen, X., & Tandhanskul, A. (2025). Research progress on the causes of turbidity in Lujia and the treatment measures. *Applied Science and Engineering Progress*. Advance online publication. <https://doi.org/10.14416/j.asep.2025.08.001>