




Síntesis de carbón activado a partir del pericarpio de cacao para la clarificación de hidromieles

Synthesis of activated carbon from cocoa pericarp for the clarification of meads

J. L. Prado Arróliga ^{a*}, D. López-Valerio ^a, K. Montiel-Centeno ^{a,b*}

^a *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.*

^b *Laboratorio de Sólidos Porosos (LabSoP), INFAP-CONICET, Universidad Nacional de San Luis, Av. Ejército de los Andes 950, San Luis, C.P. 5700, Argentina.*

Resumen

Este trabajo se focalizó en la síntesis de carbones activados a partir del pericarpio de cacao (*Theobroma cacao* L.) como material clarificante de hidromieles artesanales. Se optimizaron las condiciones de síntesis como la concentración del agente activante (25, 30 y 35%), la temperatura (300, 500 y 600 °C) y el tiempo de carbonización (30, 60 y 120 min). Estas variables se combinaron a través del diseño experimental Taguchi con arreglo ortogonal L8 y tres niveles. Así mismo, los ensayos de clarificación se realizaron a diferentes tiempos de agitación (2, 4, 6 h) y reposo (18, 20, 22 h). Los resultados mostraron que los carbones obtenidos presentaron alta superficie específica (>460 m²/g), destacándose el material sintetizado bajo condiciones que involucraron baja concentración de agente activante (H₃PO₄, 25 %), alta temperatura (600 °C) y mayor tiempo de carbonización (120 min). Finalmente, los carbones obtenidos mostraron alta efectividad en la clarificación de hidromiel artesanal.

Palabras Clave: Carbón activado, clarificación, hidromiel, pericarpio de cacao.

Abstract

This work focused on the synthesis of activated carbons from cocoa pericarp (*Theobroma cacao* L.) as a clarifying material for artisanal mead. The synthesis conditions were optimized, including the concentration of the activating agent (25, 30, and 35 %), temperature (300, 500, and 600 °C), and carbonization time (30, 60, and 120 min). These variables were combined using Taguchi experimental design with an L8 orthogonal array and three levels. Clarification tests were conducted at different agitation times (2, 4, 6 h) and rest periods (18, 20, 22 h). The results showed that the obtained carbons exhibited a high specific surface area (>460 m²/g), with the material synthesized under conditions involving a low concentration of the activating agent (H₃PO₄, 25%), high temperature (600 °C), and longer carbonization time (120 min) standing out. Finally, the obtained carbons demonstrated high effectiveness in clarifying artisanal mead.

Keywords: Activated carbon, clarification, cocoa pericarp, mead.

1. Introducción

En Nicaragua, el sector agrícola representa un 20 % del producto interno bruto, emplea casi el 40 % de la población activa y produce el 90 % de los alimentos de la canasta básica (Molina-Cedeño et al., 2020). Esto significa que es uno de los principales ejes para el desarrollo del país. No obstante, en la actualidad existen ciertos inconvenientes en este rubro, uno de ellos es respecto al desaprovechamiento de los residuos que son generados en el proceso productivo. Entre los sectores que han llamado considerablemente la atención, por la cantidad de residuos generados, se encuentra el sector cacaoero, con más

de 10 Tn de residuos por año (Fréguin-Gresh et al., 2022). Estos residuos hasta el momento son únicamente utilizados como abono orgánico en las fincas. Sin embargo, dicho uso ocasiona problemas relacionados con la proliferación de plagas y enfermedades en las plantas sanas (Molina-Cedeño et al. 2020). Por esta razón, surge la necesidad de aprovechar los residuos del cacao, principalmente la cáscara (pericarpio) proveniente de la mazorca, la cual representa la mayor cantidad del fruto (~90 %) (Arvelo et al., 2017). El pericarpio de cacao es un compuesto orgánico rico en unidades estructurales de carbono (Díaz et al., 2022), por lo que es una materia prima

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

Correo electrónico: jose.prado@unan.edu.ni (José Luis Prado Arróliga), dalv2201@gmail.com (Danilo López-Valerio), kiaramontiel4@gmail.com (Kiara Montiel-Centeno).

potencial para el desarrollo de materiales adsorbentes como el carbón activado (CA).

El CA se ha convertido en un producto de interés en Nicaragua para diversos sectores, tales como las plantas de tratamiento de agua, la industria farmacéutica y alimentaria. Actualmente, para abastecer la demanda de CA es necesario recurrir a las importaciones, lo cual representa altos costos. Según COMEX en el primer trimestre del 2022, las importaciones en este rubro constituyeron un desembolso monetario de USD 310, 089 (COMEX, 2022). Por lo tanto, el desarrollo de CA a partir de materia prima local es de gran interés en dicho país.

Los CA son materiales sólidos que se obtienen por carbonización y activación de materia orgánica, especialmente de origen vegetal, hullas, lignitos y turbas (Vidal et al., 2018). La actividad del CA en los procesos de adsorción viene dada fundamentalmente, por la naturaleza de la materia prima y el proceso de activación, con lo cual se obtienen propiedades de interés tales como su alta porosidad y la presencia de grupos funcionales (Montiel-Centeno et al., 2019).

En la actualidad, los CA son considerados como uno de los adsorbentes más empelados para la adsorción de distintas moléculas, tales como metales pesados, colorantes textiles, gases de efecto invernadero, entre otros (Medina et al., 2018; Ojeda et al., 2021; Montiel-Centeno, et al., 2019). Así mismo, los CA también son utilizados en la industria alimentaria como agentes clarificantes (Fito et al., 2014). Esta última aplicación es de interés en Nicaragua, debido a que el sector de la pequeña y mediana industria, particularmente del sector de bebidas, está en crecimiento, y uno de sus principales desafíos es cumplir con los estándares de calidad que les permita distribuir productos con las propiedades organolépticas deseadas. Por ejemplo, actualmente los pequeños productores de hidromieles, tienen problemas para comercializar su producto debido a la cantidad de sólidos suspendidos que impiden darle el brillo característico que posee dicha bebida. En este sentido, el uso de CA como material clarificante puede ser de interés en este rubro.

Dadas las consideraciones previamente mencionadas, este trabajo tiene como objetivo sintetizar CA a partir del endocarpio de la mazorca del cacao. En el proceso de síntesis se estudia 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 un hidromiel artesanal.

2. Materiales y métodos

2.1. Preparación y caracterización fisicoquímica de la mazorca de cacao

El procedimiento implementado se fundamentó en las recomendaciones de Arvelo et al., (2017). Se seleccionaron 15 frutos de cacao bajo criterios de sanidad; luego los frutos fueron abiertos y se le retiraron sus semillas, mucilago y el endocarpio, obteniendo la mazorca únicamente con su cáscara. Posteriormente, dichas mazorcas se caracterizaron morfológicamente (largo del fruto (cm), diámetro del fruto (cm), color del fruto maduro, forma del fruto, forma del ápice, rugosidad del mesocarpio, dureza del mesocarpio, espesor del

caballete (cm) y profundidad del surco (cm)) para tener una muestra compuesta homogénea, que posteriormente fue cortada en trozos de 5x2 cm.

La muestra compuesta se trituró en un molino hasta obtener un tamaño de partícula de 4 mm. Posteriormente, se caracterizó mediante los siguientes análisis: *i*) Peso promedio (1), *ii*) Materia seca (método de secado en estufa) (2), *iii*) Humedad (ISO 6540:2001), *iv*) Cenizas totales (ISO 2171:2007) (3), *v*) Material volátil (Council for Mineral Technology, 1987) (4) y *vi*) Carbono fijo (ASTM D 3172-89) (5).

$$P_T = \sum(P_{BM} - P_{BV}) \quad (1)$$

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

$$\%CT = \frac{\bar{m}_2 - \bar{m}_0}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

$$\%MV = \frac{\bar{m}_2 - \bar{m}_0}{\bar{m}_1 - \bar{m}_0} * 100\% \quad (4)$$

$$\%CF = 100\% - (\%MV + \%CT) \quad (5)$$

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 muestra obtenida en el paso anterior se secó a 100 °C por 4 h, de la cual se tomaron 8 g y se impregnaron con H_3PO_4 , manteniendo fija la relación m/v (1:3) y variando la concentración de H_3PO_4 . Luego, el material impregnado se carbonizó en una mufla a diferentes temperaturas y tiempos, según el diseño de experimento (a tres niveles). Finalmente, tras el proceso de activación, los materiales fueron lavados con agua destilada hasta lograr un pH neutro. Se obtuvieron 9 CA por la combinación de variables en el diseño de experimentos que se muestra en la Tabla 1.

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

CA	T (°C)	t (min)	[H ₃ PO ₄]
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 para obtener un aproximado del área superficial específica (S_{BET}) (6). Además, se evaluaron otros parámetros como el contenido total de cenizas (7), materiales solubles en agua (MSA) (8), punto de carga cero (PZC) y densidad aparente (9).

$$\left. \begin{aligned} \frac{x}{c} &= \frac{[A-(DF)(B)(S)]}{M} \\ \{Y &= m * 0,02 \frac{mg}{g} + b\} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\text{Área Superficial} = \left\{ \text{Número de } I_2 + 100 \frac{m^2}{mg} \right\}$$

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_{\text{crisol+ceniza}} - m_{\text{crisol}}}{m_{\text{crisol+muestra}} - m_{\text{crisol}}} * 100 \quad (7)$$

$$\% \text{ Materias Solubles en Agua} = \frac{(B-A)*D*100}{C*E} \quad (8)$$

$$D_a = \frac{m_{p+m} - m_{pv}}{V} \quad (9)$$

Donde; *M*: peso del carbón activado; *DF*: factor de dilución según norma ASTM D 4607; *B*: tiosulfato residual; *A*: concentración residual de yodo; *S*: volumen de tiosulfato de sodio; *A*: masa de capsula de evaporación; *B*: masa de cápsula 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 de la muestra.

2.4. Aplicación: Clarificación de hidromiel

Los ensayos de clarificación del hidromiel artesanal se realizaron tomando 0,10 g de las muestras CA-1, CA-3 y CA-6, cada una se puso en contacto con 100 mL de hidromiel, a diferentes tiempos de agitación (A) y reposo (R): (A: 2, 4 y 6 h) y (R: 22, 20 y 18 h) a temperatura ambiente. Después del reposo, se tomaron alícuotas del hidromiel 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 hidromiel con los CA.

Muestra	Tratamiento	A (h)	R (h)
CA-1	1	2	22
	2	4	20
	3	6	18
CA-3	1	2	22
	2	4	20
	3	6	18
CA-6	1	2	22
	2	4	20
	3	6	18

3. Resultados y discusión

Las características morfológicas de los pericarpios seleccionados (Figura 1) indicaron homogeneidad en cada una de ellos, presentando los siguientes valores promedio en los parámetros: Largo del fruto 14 cm, diámetro 7 cm, color maduro amarillo, forma oblonga, forma del ápice apezonado, rugosidad del mesocarpio áspera, mesocarpio duro, espesor del caballete 8,5 cm y profundidad del surco 0,45 cm.

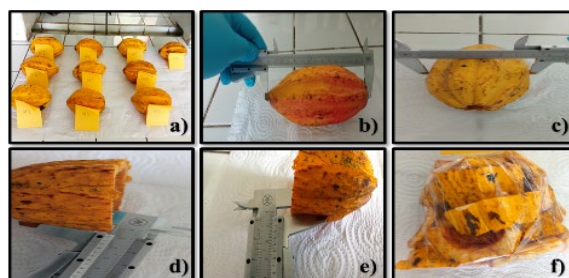


Figura 1: Caracterización morfológica de las cáscaras de mazorca de cacao, a) muestras de mazorca, b) largo del fruto, c) diámetro, d) profundidad del surco, e) espesor del caballete y f) almacenamiento.

A través de la caracterización fisicoquímica realizada al pericarpio de cacao (antes de la síntesis de los CA) se obtuvieron los siguientes resultados: Masa promedio de pericarpio: 350 g/mazorca; materia seca: 21,72 %; humedad: 78,28 %; cenizas 3,04 %; material volátil 5,24 %, y carbón fijo 91,72 %. En estos valores se observa que la humedad obtenida fue alta, lo cual indica que el pericarpio de cacao debe ser tratado rápidamente, ya que puede degradarse y propagar microorganismos con facilidad, y como consecuencia puede generar pérdidas en el rendimiento.

Por otro lado, las cenizas hacen referencia a los compuestos inorgánicos presentes en la mazorca, y que pueden estar presentes en el CA e influenciar en la capacidad de adsorción del mismo. En este caso el porcentaje de cenizas fue bajo, por lo que su efecto sobre aplicaciones de adsorción puede ser nulo. Adicionalmente, el carbono fijo permitió tener una aproximación sobre el rendimiento en masa de los CA, el cual puede ser alto para el pericarpio de cacao.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de las distintas caracterizaciones realizadas a los nueve CA. Se observa que todos los materiales sintetizados presentaron alta superficie específica (>460 m²/g), destacándose el CA-3, el cual presentó el valor de *S_{BET}* más alto, por el contrario, el CA-6 mostró el *S_{BET}* más bajo. Este resultado indica que el pericarpio de cacao expuesto a mayor temperatura y tiempo, así como a baja concentración de agente activante produce CA con mayor área superficial.

Tabla 3: Determinación de parámetros de calidad de los nueve CA

CA	<i>S_{BET}</i> ¹ (m ² /g)	Cenizas (%) ²	MSA (%) ³	PZC ⁴	<i>ρ</i> _{aparente} ⁵ (g/mL)
1	500	19	15	4,0	0,5
2	480	20	19	5,1	0,4
3	650	5	4	4,7	0,3
4	620	11	6	4,3	0,3
5	500	18	22	4,4	0,4
6	460	27	23	3,8	0,5
7	480	21	22	3,9	0,5
8	630	7	4	4,8	0,3
9	480	23	24	3,9	0,4

¹Método de índice de yodo. ²ASTM D2866-11. ³ASTM D5029-98/2014.

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

Por otra parte, la muestra CA-3 presentó el porcentaje de cenizas más bajo, indicando que las temperaturas y tiempos de carbonización altos reducen la formación de cenizas. Así mismo, el porcentaje de MSA mostró una correlación directa con el porcentaje de cenizas. Por otro lado, de acuerdo al PZC la muestra CA-6 presentó una superficie más ácida, debido a que se expuso durante más tiempo a una concentración alta de

agente activante. Por último, con relación a la densidad aparente no se observaron diferencias significativas en los CA sintetizados.

Adicionalmente, se puede notar que los valores de S_{BET} calculados en los nueve CA ascienden a partir de los 460 m²/g, es decir que los carbones cuentan con importantes sitios de adsorción. Sin embargo, no todos se encuentran dentro de las especificaciones establecidas por la norma ASTM D4607-94, donde el índice de yodo oscila entre 500-1200 m²/g de CA. Por otro lado, respecto al contenido de cenizas, el 33 % de los valores obtenidos se encuentran dentro de lo establecido por la norma ASTM D2866-11 (2011), la cual indica que el contenido de ceniza de un CA no debe superar el 15 %.

Con respecto a la MSA, Lenntech, 2020 establece que el porcentaje de materias solubles para los CA debe estar por debajo del 5 %. Esto indica que los CA-3, 4 y 8 se encuentran dentro de los parámetros de calidad establecidos por Lenntech. Por otra parte, el PZC obtenido en las muestras CA-3, 4 y 8 indica que estas muestras están cargados superficialmente de forma positiva, por lo que tienen alto potencial para la adsorción de sustancias aniónicas. El resto de CA son más electronegativos por lo que pueden ser apropiados para adsorber sustancias catiónicas. Por otro lado, según ASTM D2854-09 (2019), la densidad aparente debe ser $\leq 0,45$ g/mL, por lo que la mayoría de CA sintetizados cumplen con este parámetro, exceptuando los CA-1,6 y 7.

Como fue descrito previamente, en los ensayos de clarificación de hidromiel se utilizaron las muestras CA-1, CA-3 y CA-6. Estas muestras se eligieron para tener un CA con valores de S_{BET} alta, media y baja. En la Figura 2, se presenta la efectividad que tuvo el CA sobre la clarificación del hidromiel artesanal. Se observa que el hidromiel pasó de tener un color marrón opaco a un amarillo claro brillante, lo cual indica que los CA fueron efectivos en el proceso.

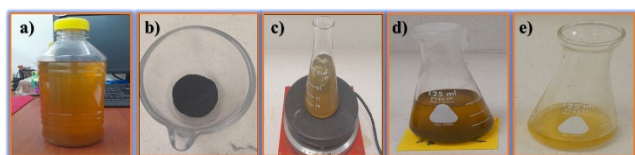


Figura 2: Prueba de clarificación de hidromiel utilizando CA como agente clarificante. a) hidromiel sin tratamiento, b) CA, c) muestra de hidromiel con CA en agitación vigorosa, d) muestra en reposo, e) muestra de hidromiel tratada.

Los valores de transmitancia (% T) medidos en el UV-Vis se presentan en la Tabla 4. Se muestra el % T promedio, y la diferencia del % T respecto al hidromiel sin tratamiento. En la Tabla 4 se observa que el blanco (agua destilada) mostró 100 % T en el equipo utilizado, no así, el hidromiel sin tratar, el cual exhibió un % T bajo (5,8), lo cual indica que contiene alta cantidad de sólidos en suspensión, por lo que absorbe mayor luz que la que emite. No obstante, el hidromiel tras el tratamiento con los CA mostró valores más altos en % T, respecto al hidromiel puro. Este resultado revela que los CA fueron efectivos en la adsorción de material sedimentado. Entre los tres CA utilizados, se observa que el CA-3 fue el que mostró el % T más alto (78,4), bajo el tratamiento de clarificación 3, es decir cuando se dejó en agitación durante 3 h y en reposo por 18 h. Este comportamiento del tiempo de agitación y reposo se repitió para las tres muestras, lo cual indica que el tratamiento 3 fue el más eficiente. Por otra parte,

la mayor efectividad por parte del CA-3, frente al CA-6 revela que la S_{BET} influye en la adsorción de sólidos sedimentados en hidromieles, indicando que los CA con mayor S_{BET} pueden tener mayor poder clarificante.

Tabla 4: Transmitancias de hidromiel sin tratamiento y con tratamiento.

Muestra	% T (Promedio entre los 570 – 590 nm)	Diferencia de % T
Blanco	100	-
Hidromiel	5,8	-
CA-1T1	69,6	63,8
CA-1T2	76,7	70,9
CA-1T3	70,3	64,5
CA-3T1	69,7	63,9
CA-3T2	77,0	71,2
CA-3T3	78,4	72,6
CA-6T1	53,4	47,6
CA-6T2	57,3	51,5
CA-6T3	66,3	60,5

4. Conclusiones

En este estudio se encontró que el pericarpio de cacao es un residuo agroindustrial con alto potencial para ser empleado como materia prima en la síntesis de CA. Todos los CA obtenidos presentaron altos valores de área superficial específica. Sin embargo, la muestra CA-3 carbonizada a 600 °C durante 120 min, y con una concentración de agente activante del 25 %, exhibió el área superficial específica más alta (650 m²/g). Esto significa, que esta muestra puede tener la mayor cantidad de microporos y a su vez puede tener mejor desempeño como material adsorbente. Así mismo, el bajo porcentaje de cenizas y de materia soluble que presentó dicha muestra la hace potencialmente aplicable en el proceso de clarificación de hidromieles; debido que en estos procesos dichas variables son importantes para evitar la solubilidad de materia inorgánica en el producto a tratar, y como consecuencia el adsorbente puede remover eficazmente los sólidos en suspensión.

Referencias

- Arvelo, M. Á., González, D., Maroto, S., Delgado, T., Montoya, P. (2017). IICA. (Arvelo, Ed.) Recuperado de <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf>
- 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
- American Society for Testing and Materials. (2011). Total Ash Content of Activated Carbon (ASTM D 2866-11). <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/104009/44201611e0314c35b575dd4992163083/ASTM-D2854-09-2019-.pdf>
- COMEX. (2022). 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/3802>
- Díaz, A. F., Ramón, B. A., Moreno, G.G. (2022). Caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. Revista de Investigación,

- Desarrollo e Innovación, 12 (1), 97-106. DOI: <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n1.2022.14211>
- Fréguin-Gresh, S., Feschet, P., Gómez, M., Orozco-Águilar, L. (2022). Análisis de la cadena de valor de cacao en Nicaragua. Informe por la Unión Europea, DG- INTPA. Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D CTR 2017/392-416), 189.
- Fito, Pedro., Andrés, A., Argüelles, Á., Ortolá, María. (2014). Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA9. Universitat Politècnica de València, España.
- 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)
- García, R., & Granillo, Y. (2016). Evaluacion de las condiciones operacionales en el proceso de preparacion de carbon activo de cascara de naranja valencia (Citrus Sinensis Linn Osbeck), Laboratorios de Química, UNAN-Managua, II Semestre 2016. Monografía para optar al título de Licenciado en Química Industrial, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Química, Managua. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/4275>. No publicado.
- Lenntech. (2020). Lenntech 101. Ficha técnica. Recuperado de <https://www.lenntech.com/Data-sheets/LENNSORB-101-EN-L.PDF>
- Manual del Carbón Activado. (2016). Manual de Máster en Ingeniería del Agua, Universidad de Sevilla, Escuela Universitaria de Politecnica, Sevilla. Recuperado de <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- Medina, K, D., Manrique, R, A., (2018). Uso del carbón activado para el tratamiento de aguas. Revisión y estudios de caso. Revista Nacional de Ingeniería, 1 (1), 8-21. <https://agenf.org/ojs/index.php/RNI/article/view/269/264>.
- Molina-Cedeño, C. S., Pillco-Herrera, B. M., de la Vida, E., Salazar-Muñoz, E. F., Coronel-Espinoza, D., Sarduy-Pereira, L. B., K. D.S. (2020). Producción más limpia como estrategia ambiental preventiva en el proceso de elaboración de pasta de cacao. Un caso en la Amazonia Ecuatoriana, 23(2), 59-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/ldata.v23i2.17640>.
- Montiel-Centeno, K., Barrera, D., Villarroel-Rocha, J., Arroyo-Gómez, J. J., Moreno, M. S., Sapag, K. (2019). CMK-3 nanostructured carbon: Effect of temperatura and time carbonization on textural properties and H₂ storage. Chemical Engineering Communications, 206(11), 1581-1595. <https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1615469>
- Montiel-Centeno, K., Barrera, D., Villarroel-Rocha, J., Moreno, M.S., Sapag, K. (2019). Hierarchical nanostructured carbons as CO₂ adsorbents. Adsorption, 25, 1287-1297. <https://doi.org/10.1007/s10450-019-00089-3>.
- 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 N₂, CO₂, and CH₄ Adsorption. Materials, 14(14), 3914. <https://doi.org/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, 23 (03), 411-419. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221>