

Uso del carbón activado de coco cubano en el filtrado de aguardientes

Yen Alfonso-Sosa¹, Darian Hernández-Louit², Anabel Frías-Chirino², José Gandón-Hernández², Guido Riera-González² *

1. UEB Ronera Occidental. Dolores y Línea de ferrocarril, Lawton, La Habana, Cuba.

2. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE.

Calle 114, e/ Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba.

*guido@quimica.cujae.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar si el carbón activado de coco (CAC) producido en Cuba, puede usarse en el filtrado de aguardiente. Los experimentos se realizaron en un filtro a escala de laboratorio, fue utilizado aguardiente proveniente de la UEB Ronera Occidental. Se realizó un análisis de granulometría del CAC, mediante tamizado que utilizó tamices de la escala normalizada Tyler. Posteriormente, se evaluó un pretratamiento al CAC, el mismo consiste en realizar lavados sucesivos con agua desmineralizada y con una solución de ácido acético al 1 %. Se tomaron muestras por cada litro de agua filtrada y se midió pH y alcalinidad. Por último, se realizaron filtraciones empleando CAC pretratado y un carbón activado importado, Norit Rox 0.8, y se compararon los resultados. El pretratamiento evaluado consta de tres etapas de lavado, se requieren 13 litros de agua desmineralizada por kilogramo de CAC. Los valores obtenidos de las variables analizadas al aguardiente filtrado: grado alcohólico (54.31 ° GL), pH (5.95) y alcalinidad (11.0 mg CaCO₃/L), están comprendidos en el intervalo especificado por la empresa. Se concluye que el CAC tiene potencialidades para ser empleado como medio filtrante en la filtración de aguardiente.

Palabras clave: carbón activado, coco, filtración, aguardiente.

ABSTRACT

The present work has as main objective to evaluate if the coconut activated carbon (CAC) produced in Cuba can be used in the filtrate of aguardiente. The experiments were performed on a laboratory scale filter, liquors from the UEB Ronera Occidental was used. A granulometry analysis of the CAC was performed using sieves of the standardized Tyler scale. Subsequently, a pretreatment to CAC was evaluated; it consists of performing successive washes with demineralized water and with an acetic acid solution to 1%. Samples were taken per liter of filtered water and pH and alkalinity were measured. Finally, filtrations were performed using pretreated CAC and an imported activated carbon, Norit Rox 0.8, and the results were compared. The pretreatment evaluated consists of three washing stages; 13 L of demineralized water per kilogram of CAC are required. The values obtained from the variables analyzed to the filtered liquor: alcoholic strength (54.31 ° GL), pH (5.95) and alkalinity (11.0 mg CaCO₃/L), are included in the range specified by the company. It is concluded that the CAC has potential to be used as a filter medium in the filtration of aguardiente.

Key words: activated coal, coconut, filtration, aguardiente.

INTRODUCCIÓN

El carbón activado (CA) es un material de amplio uso en la industria, las características de poseer gran superficie interna y amplia distribución de poros, le proporciona excelente capacidad adsorben-

te permitiéndole atrapar un gran número de diferentes moléculas que pueden afectar la calidad de un producto (1)

Entre sus variados usos podemos mencionar: para purificar agua, desodorizar, adsorber gases, decolorar o ionizar. Dadas sus características muy versátiles, los hacen valiosos en las industrias de la minería, vitivinicultura, de alimentos, cigarreras, farmacéuticas, fabricación de filtros para control de emisiones, cosmética y muchísimas otras áreas (2).

En la industria de bebidas y licores son empleados diferentes tipos de carbones activados como medio filtrante. El medio filtrante es una parte fundamental del filtro. Este medio poroso se selecciona atendiendo a las particularidades del proceso. Es conveniente que tenga el tamaño de poros lo mayor posible, de acuerdo con el tipo de sólidos que debe depositarse sobre él, lo que garantiza la menor resistencia hidráulica, pero que a la vez no deje pasar las partículas más pequeñas (3).

La filtración del aguardiente, donde se emplea el carbón activado, no debe alterar el producto final en sus principales propiedades organolépticas: color, aroma, sabor y si proporcionarles el grado alcohólico, el color, el pH, la acidez y la dureza, establecidos como parámetros de calidad (4).

En la producción de aguardientes y rones en Cuba se emplean carbones activados importados con excelentes resultados, pero sus costos limitan su empleo. Una alternativa para disminuir los costos consiste en emplear carbón activado de coco (CAC) cubano.

La literatura plantea (5), que el carbón activado de coco tiene características físico- químicas que no le permiten ser usado, directamente, en el filtrado del aguardiente, ya que le aporta a este, componentes que producen variaciones en la alcalinidad y en el pH, y lo hacen no apto para ser empleado para dicho propósito. Por tal motivo, es necesario someterlo a un pretratamiento, para que sus propiedades sean similares a las de otros carbones activados, que se emplean en esta operación. Una metodología para el pretratamiento fue propuesta por Bacallao F. (5) con buenos resultados, pero no se especifica las cantidades de agua ni los tiempos empleados.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar si el carbón activado de coco, producido en Cuba, puede ser usado en la operación de filtrado de aguardiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo, los experimentos se realizaron en un filtro a escala de laboratorio, que fue diseñado a partir del escalado inverso (desescalado) de un filtro industrial, en un estudio previo. En la tabla 1 se presentan las dimensiones del filtro y las condiciones de operación a nivel de laboratorio. La instalación experimental se muestra en la figura 1.



Figura 1. Filtro a escala de laboratorio diseñado a partir del escalado inverso de un filtro industrial.

Tabla 1. Dimensiones del filtro a nivel de laboratorio y sus condiciones de operación

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
D (m)	0.102	Vh (m ³)	0.0005
Ht (m)	0.125	Vc (m ³)	0.0002
Hc (m)	0.081	Vlt (m ³)	0.00024
Hf (m)	0.025	A _{ST} (m ²)	0.008
Hlt (m)	0.115	m _c (kg)	0.240
Q (m ³ /h)	0.0004	t _{res} (h)	1.140
V (m ³)	0.001	Flux (m ³ /m ² h)	0.050
Vc (m ³)	0.0006	C _h (m ³ /m ²)	0.030

D: diámetro interno del filtro, Ht: altura total del filtro, Hc: altura de la cama de carbón en el filtro, Hf: altura de fondo, Hlt: altura del líquido en el tope, Q: flujo volumétrico, V: volumen total del filtro, Vc: volumen de la cama de carbón, Vh: volumen de huecos, Vc: volumen de carbón, Vlt: volumen de líquido en el tope, A_{ST}: área de la sección transversal del filtro, m_c: masa del carbón, t_{res}: tiempo de residencia, Flux: flujo volumétrico por unidad de área, Ch: volumen por unidad de área.

En los experimentos se utilizó aguardiente de la UEB Ronera Occidental, carbón activado Norit Rox 0.8, material empleado como medio filtrante en la etapa de filtración de aguardiente a escala industrial, y carbón activado de coco cubano.

Inicialmente, se caracterizó el carbón activado de coco, mediante un estudio granulométrico y se le determinó densidad aparente y porosidad. El estudio de granulometría se hizo por triplicado. Esta prueba se realizó mediante análisis de tamizado y utilizó tamices de la escala normalizada Tyler.

En una segunda etapa de la investigación y tomando en cuenta que el carbón de coco cubano tiene características físico-químicas que no le permiten ser usado directamente en el filtrado del aguardiente, ya que le aportan componentes que afectan su calidad final, como son la alcalinidad y el pH, se evaluó un procedimiento que permita contar con carbón activado de coco con posibilidades para ser empleado en la filtración de aguardiente, se tomó como base la metodología propuesta por Bacallao F. (5); esta propone, inicialmente, aplicar lavados sucesivos con agua destilada, con el objetivo de disminuir la alcalinidad del producto y, posteriormente, con una solución al 1 % de ácido acético, con el propósito de disminuir el pH hasta un valor próximo a la neutralidad. Por último, se lava nuevamente con agua destilada, para eliminar el ácido acético en el carbón y evitar la contaminación del producto final.

Para realizar el pretratamiento descrito se empaca el filtro de laboratorio con un kilogramo de CAC y se hace pasar un litro de agua desmineralizada o solución de ácido acético al 1 %, se recolecta el filtrado, se toma muestra por cada litro de filtrado y se le analiza la alcalinidad y el pH, como control del proceso. Luego del proceso de lavado se procede a secar las muestras en una estufa a 40 °C, durante dos horas, con el objetivo de eliminar humedad.

Posteriormente, se realizaron 20 corridas experimentales para medir las potencialidades del uso del carbón activado de coco cubano en el proceso de filtración de aguardiente, en 10 de ellas el filtro fue conformado con carbón activado Norit Rox 0.8 y otras 10 con el CAC cubano pretratado. A la salida del filtro se recolecta el aguardiente filtrado, por cada litro se recogieron muestras y se le realizaron mediciones de pH y alcalinidad, para un total de 20 mediciones.

Las mediciones de pH se realizaron según NC ISO 10523: 2016 (6) en un Ph-metro marca HI 5221-02, el cual presenta una resolución de 0.01 y un error de medición de ≤ 0.02 y la alcalinidad total mediante titulación con Metil, se expresó el resultado como alcalinidad total equivalente a "x" mg de CaCO₃ por litro (mg CaCO₃/L), según la NC ISO 9963-1: 2010 (7).

Los parámetros medidos al aguardiente que se filtró (grado alcohólico (8), pH y alcalinidad) con CAC cubano fueron comparados con las especificaciones de la norma de empresa de la UEB Ronera Occidental, que se muestran en la tabla 2. También, fueron comparados con los obtenidos con el carbón Norit Rox 0.8.

Tabla 2. Especificaciones para el aguardiente (NC 264:2005)

Parámetro	Aguardiente	
	Antes de filtrado	Después de filtrado
Grado alcohólico (°GL)	50-55	49.9-54.9
Acidez total (%)	25-100	20-100
pH	<7	<6
Calcio (ppm)	<5 ppm	<5 ppm
Magnesio (ppm)	<5 ppm	<5 ppm
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	-	-

El procesamiento matemático de los resultados experimentales, se realizó mediante el programa StatGraphics Centurión v15.1.0.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del estudio granulométrico del carbón activado de coco

En la tabla 3 se presentan los resultados del estudio granulométrico realizado al CAC cubano, así como sus propiedades físicas y químicas. También, se muestran las características del carbón activado Norit Rox 0.8, suministradas por la UEB Ronera Occidental.

Un análisis de los resultados expuestos en la tabla 4 permite concluir que no hay diferencias apreciables entre la humedad, la densidad aparente y la densidad de partículas de ambos tipos de carbón activado. La principal diferencia se encuentra en el tamaño de partículas. De este análisis, se puede concluir que CAC cubano tiene un diámetro medio superficial volumétrico de 1.85 mm, este es superior al que presenta el carbón Norit Rox 0.8 de diámetro 0,6 mm, se aprecia una gran

Tabla 3. Granulometría y propiedades físicas y químicas del carbón activado Norit Rox 0.8 y del carbón activado de coco cubano (CAC)

Características	Tipos de carbón activado		
	**Norit Rox 0.8	CAC	CAC fracción (3.15 – 4.0 mm)
Tamaño promedio de partícula (mm)	< 0.6	1.85 (0.044)**	3.58 (0.038)
pH	neutro	8.1	8.1
Humedad (%)	5.0	5.6	5.6
Densidad aparente (g/mL)	0.4	0.40 (0.002)	0.37 (0.005)
Densidad de partícula (g/mL)	1.5	1.25	1.25
Área total de la superficie interior (m ² /g)	1225	978	978
Porosidad	0.73	0.53 (0.013)	0.70 (0.010)
Contenido de cenizas (%)	3.0		6.0

*Los datos fueron aportados por la UEB Ronera Occidental. **() desviación estándar.

dispersión en los tamaños de partículas del CAC cubano (figura 2), mientras que el Norit Rox 0.8 presenta una alta homogeneidad.

En la figura 2 se presenta la distribución acumulativa de uno de los experimentos, en ella se puede comprobar que la muestra tiene una amplia distribución de tamaño. El 10 % de las partículas tiene un tamaño inferior 0.75 y el 50 % un tamaño inferior a 2.25. Entre 2.5 mm y 4 mm hay un 40 % de partículas, Más del 95 % de las partículas tiene un tamaño inferior a 5 mm.



Figura 2. Gráfico de distribución acumulativa de la distribución de tamaño de partícula.

Según los resultados, el CAC cubano puede ser considerado como un carbón granulado según la definición dada por Luna D., *et al.* (2), en la que plantea que el carbón granular o conformado tiene tamaño medio de partícula de entre 1.0–5.0 mm.

Teniendo en cuenta el análisis anterior y con el propósito de realizar el estudio con un tamaño de partículas lo más homogéneo posible, se decidió emplear un CAC con partículas de diámetros entre 3.15 mm y 4 mm. Las muestras fueron separadas por tamizado. El resultado del estudio granulométrico (tabla 3) arrojó un tamaño promedio de partículas igual a 3.58 mm, con una densidad aparente de 0.37 g/mL, y porosidad igual a 0.70. Estas propiedades difieren con respecto a las observadas anteriormente, lo cual es adecuado; ya que, al aumentar el tamaño de partículas, disminuye la densidad aparente y aumenta la porosidad. El resto de las propiedades analizadas son iguales.

A partir del análisis de las características del carbón activado de coco cubano se concluye que, antes de ser usado en la filtración de aguardiente, es necesario realizar un tratamiento para eliminar las impurezas y neutralizar el pH.

Resultados del pretratamiento del CAC

En la tabla 4 se muestran los resultados por etapas del pretratamiento realizado al CAC cubano. En esta se muestran los valores de pH y alcalinidad medidos al agua de lavado, una vez que se hace pasar a través del filtro.

En la primera etapa del pretratamiento se observa que la alcalinidad del CAC se logra disminuir a valores aceptables para la operación de filtración, 16.40 (2.82) mg/L, después de lavar un kilogramo de CAC con seis litros de agua desmineralizada. El valor de alcalinidad obtenido es similar al reportado por Bacallao F. 48.50 (13.3), (5). Si bien el resultado de la alcalinidad fue positivo, no resulta de igual forma con el pH, 10, el cual debe tener un valor cercano a 7, según lo especificado para el Norit Rox 0.8 (tabla 3). Bacallao (5) reporta un pH de 9.24 después de un tercer lavado, aunque no se especifica ni la cantidad de agua empleada ni el tiempo de contacto.

Tabla 4. Resultados del pretratamiento realizado al CAC pH y alcalinidad del filtrado

No. lavado	Volumen (L)	Primera etapa		Segunda etapa	Tercera etapa	
		pH	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	pH	pH	Alcalinidad (mg/L)
1	1	12.02	428.50	7.30	5.80	43.30
2	1	11.30	240.60	5.20	6.35	44.20
3	1	10.50	150.10	4.40	6.50	44.20
4	1	10.15	40.20	4.41	6.60	45.10
5	1	10.10	21.30	4.40	7.01	45.10
6	1	10.08	16.40	-	-	-

Dado lo anterior, se propone una segunda etapa donde se realizan lavados sucesivos con una solución de ácido acético al 1 %. Se puede apreciar (tabla 4) que en esta etapa el pH del filtrado disminuye a valores por debajo de 7, después del segundo lavado con solución acética al 1 %, indica que no es necesario continuar la operación de neutralización. Finalmente, se obtiene un pH medio igual a 5.2 después de emplear dos litros de la solución.

Por último, se lavó nuevamente con agua desmineralizada para eliminar el ácido acético en el CAC y evitar la contaminación del producto final (tercera etapa). Se observa que después de emplear cinco litros de agua desmineralizada se obtiene un filtrado con un pH igual a 7.01 y una alcalinidad de 45.10 mg CaCO₃/L.

Se concluye que se requiere emplear un total de 13 litros de agua desmineralizada para alcanzar un pH neutro, con una alcalinidad que permite emplear el carbón activado de coco en la operación de filtración de aguardiente.

Evaluación del CAC en la filtración de aguardiente

La prueba de filtración de aguardiente se realizó con el CAC cubano pretratado y con el carbón activado comercial Norit Rox 0.8. En la tabla 5 se presentan los resultados del análisis estadístico de las corridas para cada variable estudiada.

A partir de los resultados del análisis estadístico que se muestra en la tabla 5, se comprueba que los datos cumplen con una distribución normal, al encontrarse los valores de sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada dentro del intervalo esperado de -2 a +2. Todas las variables analizadas presentan desviaciones estándar pequeñas, inferiores a 0.5.

Tabla 5. Resumen estadístico de la evaluación del proceso de filtración de aguardiente. empleando dos tipos de carbón activado

	Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)		Grado alcohólico		pH	
	CAC	NR	CAC	NR	CAC	NR
Recuento	10	10	10	10	10	10
Promedio	11.00	11.93	54.31	54.64	5.95	6.57
Varianza	0.011	0.001	0.234	0.165	0.007	0.003
Desviación estándar	0.107	0.040	0.484	0.406	0.086	0.062
Sesgo estandarizado	0.930	0.230	0.510	-1.37	0.01	0.59
Curtosis estandarizada	-0.330	-0.230	0.010	0.016	0.26	-0.47

CAC: Carbón activado de coco; NR: Carbón Norit Rox 0.8.

Para comprobar estadísticamente, si existen diferencias significativas entre los resultados del empleo de ambos carbones, se realizaron pruebas de rangos múltiples a todas las variables (tabla 6).

Tabla 6. Análisis por grupo. (Método: 95,0 porcentajes LSD)

	Casos	Media	Grupos homogéneos
Alcalinidad total CAC	10	11.00	X
Alcalinidad total NR	10	11.93	X
Grado alcohólico CAC	10	54.31	X
Grado alcohólico NR	10	54.64	X
pH CAC	10	5.95	X
pH NR	10	6.57	X

En todos los casos el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, demuestra que existe diferencia estadísticamente significativa, entre las medias de los pares de variables estudiadas, con un nivel del 95.0 % de confianza. Los resultados de la tabla 6 confirman la existencia de diferencia significativa entre las medias de ambos grupos, al estar las X en diferentes columnas para cada par estudiado.

En el análisis anterior se concluyó que existen diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de las variables del aguardiente filtrado al emplear los dos tipos de carbón activado, CAC cubano y el Norit Rox 0.8, se observa que los valores de las variables que emplean CAC cubano (grado alcohólico 54.3 °GL, pH 5.95, alcalinidad 11.0 mg CaCO₃/L) se encuentran dentro del intervalo establecido en las especificaciones para el aguardiente filtrado por la empresa UEB Ronera Occidental (grado alcohólico 49.90 – 54.9 °GL, pH < 6) (tabla 2). De ahí, que se plantee que el CAC cubano es una posible alternativa para su empleo como medio filtrante en la etapa de filtración de aguardiente.

CONCLUSIONES

El carbón activado de coco cubano empleado tiene un diámetro medio superficial volumétrico de 1.86 mm, densidad aparente de 0.40 g/cm³, y porosidad de 0.53, valores que están dentro de los intervalos que se ofrecen en la literatura. Se determinó que se requiere realizar un pretratamiento al CAC previo a su empleo, el procedimiento propuesto emplea 13 L de agua por kg de CAC. El aguardiente filtrado obtenido empleando CAC cubano, como medio filtrante, presenta características similares a las especificadas en las normas, grado alcohólico 54.31°GL, pH igual a 5.95 y alcalinidad 11.0 mg CaCO₃/L, que es muestra de las potencialidades del carbón activado de coco para su uso en la filtración de aguardiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Padrón, R.; Rodríguez, C.; Gómez, A.; García, A.; González, L. El carbón activado, un material adsorbente. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, 2013. <http://monografias.umcc.cu/monos/2013/Facultad%20de%20Ingenierias/mo13253.pdf>. Consultada: 2 marzo 2020.
2. Luna, D.; González, A.; Gordon, M.; Martín, N. Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *ContactoS* 64, 39–48, 2007.
3. Rushton, A.; Ward, A.; Holdich, R. *Solid-Liquid Filtration and Separation Technology*. Second edition, Wiley-VCH, 2000.

4. Queris Hernández, O. Ciencia y Tecnología de Bebidas destiladas. Ronas. Camargo LIC, editor. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, 2007. 140 p.
5. Bacallao Felipe, Y. Procedimiento para la utilización del carbón de coco nacional en la Industria Ronera. Trabajo de diploma, IFAL, Universidad de La Habana, 2014.
6. NC ISO 10523: 2016. Determinación del pH [ISO 10523:1994, IDT].
7. NC ISO 9963-1: 2010. Determinación de la alcalinidad — parte 1: Determinación de la alcalinidad total y compuesta (ISO 9963-1:1994, IDT).
8. NC 290: 2007. Bebidas alcohólicas — Determinación del grado alcohólico en alcoholes, bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, bebidas alcohólicas preparadas, cocteles y extractos hidroalcohólicos.
9. NC 264: 2005. Aguardiente — Especificaciones.