

PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A ESCALA DE LABORATORIO A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ

Rocío Farrera A.¹, Carlos A. Marroquín A.², Miguel Cid², Eneida Dávila², Higinio García, Marco A. Méndez²

RESUMEN

Se utilizó el residuo de café para la elaboración de carbón activado. Se aplicaron los métodos de activación física y activación química. Se empleó la capacidad de adsorción para comparar la eficiencia de ambos tipos de activación. Los resultados mostraron que la capacidad de adsorción es mayor con la activación química.

Palabras clave: Carbón activado, métodos de activación, capacidad de adsorción, método Adamca.

ABSTRACT

The residue of coffee preparation was used for the production of activated carbon. Physical and chemical activation methods were applied. The adsorption capacity was used to compare the efficiency of both kinds of activation. The results showed the adsorption capacity is better with chemical activation.

Keywords: Activated carbon, activation methods, adsorption capacity, Adamca Method.

INTRODUCCIÓN

El carbón activado es una materia carbonosa de origen mineral o vegetal la cual ha pasado por un proceso de activación, el cual consiste en aumentar la porosidad del carbón mediante una serie de etapas las cuales, regularmente, se clasifican como activación física y activación química, interviniendo en esta última el uso de sustancias químicas [1]. La estructura del carbón activado está constituida por un conjunto irregular de capas de carbono, con espacios que constituyen la porosidad. Es precisamente, esta característica del carbón activado la que contribuye a su propiedad más importante, la estructura porosa interna altamente desarrollada y al mismo tiempo, accesible para los procesos de adsorción. Lo hace con tal efectividad, que es el purificante más utilizado por el ser humano [2].

La porosidad del carbón activado es la responsable de sus propiedades adsorbentes, utilizadas en aplicaciones tanto en fase gaseosa como en fase líquida. El carbón activado, es un adsorbente muy versátil, porque el tamaño y distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados de acuerdo a las necesidades. El área superficial del carbón activado varía dependiendo de la materia prima y del proceso de activación [3].

Las materias primas más utilizadas para fabricar carbón activado son maderas poco duras, como la de pino, carbones minerales y cáscaras o huesos de vegetales tales como la cáscara de coco, hueso de aceituna o de durazno y cáscara de nuez. Los carbones activados fabricados a partir de maderas poco duras forman poros de diámetro grande y son particularmente adecuados para decolorar líquidos. Los que se fabrican a partir de carbones minerales, tienden a formar una amplia gama de poros; suelen

¹ Profesora del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, ITTG.
Email: rfarrera@ittg.edu.mx

² Profesores del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, ITTG.

ser más adecuados para aplicaciones en las que los compuestos que buscan retenerse son de distintos tamaños moleculares. Los que parten de cáscaras o huesos duros, forman poros pequeños, y se aplican en el tratamiento de gases o en la potabilización de aguas que provienen de pozos. En todos ellos el factor común es el alto contenido de carbono en su estructura molecular [2].

El procesamiento industrial de los productos del campo genera subproductos y/o residuos que pueden ser fuente importante de diversos compuestos químicos y otros productos como glúcidos, pigmentos, fibras, proteínas, polifenoles, lignina, que son potencialmente útiles y con mayor valor agregado a través de ulteriores procesamientos [4]. El café tostado y molido presenta un alto contenido de carbohidratos, los cuales son muy importantes en la elaboración del carbón activado [5], por lo que en este estudio se eligió como materia prima para producir carbón activado al residuo del proceso de elaboración de la bebida del café.

El carbón puede activarse mediante procesos térmicos o químicos. Los procesos térmicos consisten en provocar una oxidación parcial del carbón, para lograr que se formen los poros, pero evitando que se gasifique y se pierda más carbón del necesario. Esto ocurre a temperaturas que están entre los 600 y los 1100 °C. Los procesos químicos parten de la materia prima antes de carbonizarse. Los reactivos son agentes deshidratantes (como ácido fosfórico) que rompen las uniones que ligan entre sí a las cadenas de celulosa. Después de esta etapa, el material se carboniza a una temperatura de unos 550 °C y luego se lava para eliminar los restos de reactivo y de otros subproductos [6].

MATERIALES Y MÉTODOS

Los procedimientos que se emplearon para la activación del carbono son los reportados por Solís et al [1]. Para la activación física se tomaron muestras secas de 40g de residuos de café, se colocaron en cápsulas de porcelana y se carbonizaron en una mufla a temperatura de 600 °C, con tiempos de tratamiento de 25 minutos por cada 40 g de muestra. Se dejó enfriar, se pulverizó en mortero y se almacenó en bolsas de polietileno. Para la activación química, se tomaron 40 g por muestra y se adicionaron

150 mililitros de ácido fosfórico al 40%, dejándose en reposo durante 16 horas. Asimismo, para probar la activación química con una mayor concentración de ácido, se utilizó ácido fosfórico pero al 85% con una relación de 1 mL de ácido por gramo de muestra pesado, se colocó en una estufa a 100 °C durante 24 horas.

Transcurrido el tiempo de activación, las muestras de ambos métodos se carbonizaron en una mufla a 500 °C durante una hora, dejándose enfriar después a temperatura ambiente. Enseguida se enjuagaron con agua destilada a 70°C y con una solución alcalina 0.1 molar de NaOH hasta conseguir un pH neutro. Se removió la humedad colocándolas en una estufa por un lapso de 48 horas. Finalmente se pulverizaron en un mortero con pistilo y se almacenaron en bolsas de polietileno.

Las muestras de carbón activado obtenidas por los tres diferentes tratamientos fueron analizadas con las normas mexicanas correspondientes [7] (Secretaría de Economía, 2011) en su contenido de humedad, NMX-f-279-SCFI-2011; cenizas, NMX-f-284-SCFI-2011 y densidad aparente, NMX-f-279-SCFI-2011. Para determinar la adsorción del carbón se empleó el método Adamca reportado por Lehner [8]. En este método se elabora una curva estándar de absorbancia del anaranjado de metilo con un fotómetro a una longitud de onda de 465 nanómetros, que se correlaciona con la capacidad de adsorción del carbón activado haciendo pasar a través de él una solución estandarizada de dicho colorante. Para la medición de la absorbancia se empleó una muestra de 200 mg de carbón activado seco en un tubo de ensayo, se le agregaron 10 ml de solución de anaranjado de metilo 3.0×10^{-5} mol/L, se agitó durante dos minutos, se filtró la solución con papel filtro para precipitados finos, se determinó la absorbancia del filtrado en un fotómetro con una longitud de onda de 465 nanómetros y se obtuvo la concentración final a partir de la curva estándar previamente elaborada.

RESULTADOS

La Tabla 1 presenta el rendimiento obtenido de carbón activado en cada tipo de tratamiento.

La Tabla 2 presenta el contenido de humedad obtenido en las muestras resultantes de cada método de activación.

TABLA 1. RENDIMIENTO DE PRODUCCION DE CARBON ACTIVADO POR TIPO DE ACTIVACION.

Tipo de Activación	Tamaño de Muestra (g)	Carbón Activado Obtenido (g)	Rendimiento (%)
Física	40	19	47.5
Química (40%)	40	12	30
Química (85%)	40	14	35

TABLA 2. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CARBÓN ACTIVADO POR MÉTODO DE ACTIVACIÓN.

Tipo de Activación	Muestra	Humedad (%)	Humedad Promedio (%)
Física	1	5.5	5.333
	2	6	
	3	4.5	
Química (40%)	1	7	7.1278
	2	8.9109	
	3	5.4726	
Química (85%)	1	3.9801	3.0811
	2	1.5075	
	3	5.5556	

La Tabla 3 presenta los resultados de densidad aparente.

TABLA 3. DENSIDAD APARENTE DEL CARBÓN ACTIVADO POR MÉTODO DE ACTIVACIÓN.

Tipo de Activación	Muestra	Densidad (g/ml)	Densidad Promedio (g/ml)
Física	1	0.277	0.2823
	2	0.291	
	3	0.279	
Química (40%)	1	0.635	0.6513
	2	0.614	
	3	0.705	
Química (85%)	1	0.916	0.9130
	2	0.923	
	3	0.900	

En la Tabla 4 se presenta el porcentaje de cenizas obtenido en cada tratamiento.

TABLA 4. RESULTADOS DE CONTENIDO CENIZAS DEL CARBÓN ACTIVADO.

Tipo de Activación	Muestra	Cenizas (%)	Promedio
Física	1	20	16.6667
	2	10	
	3	20	
Química (40%)	1	30	40.00
	2	50	
	3	40	
Química (85%)	1	10	16.6667
	2	20	
	3	20	

La curva estándar para llevar a cabo el análisis de adsorción con el método Adamca se presenta en la Figura 1.

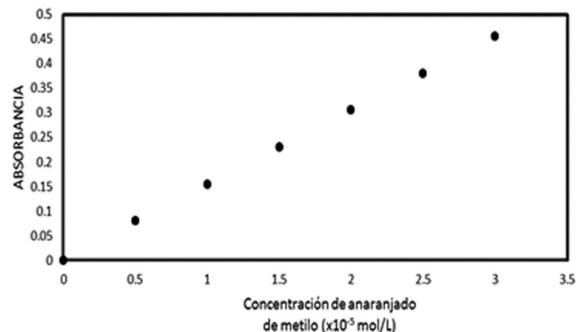


Figura 1. Curva estándar de anaranjado de metilo

Para identificar las mejores condiciones para la prueba de adsorción, primeramente se realizaron cinco mediciones con diferentes cantidades de carbón activado, para identificar el nivel de adsorción respectivo.

TABLA 5. CONCENTRACIÓN DE ANARANJADO DE METILO DESPUÉS DE ESTAR EN CONTACTO CON DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA DE CARBÓN ACTIVADO (x10⁻⁵ mol/L)

Tipo de Activación	50 mg	100 mg	200 mg	300 mg	400 mg
Física	2.966090426	3.039228723	3.032579787	2.98825355	2.88408688
Química (40%)	0.814051418	0.614583333	0.827349291	0.86281028	1.03125
Química (85%)	0.716533688	0.612367021	1.035682624	0.85837766	1.24401596

Tomando los valores promedio de la Tabla 5, y transformándolos a unidades de moles de anaranjado de metilo por unidad de carbón activado obtenemos los resultados que se presentan en la Figura 2.

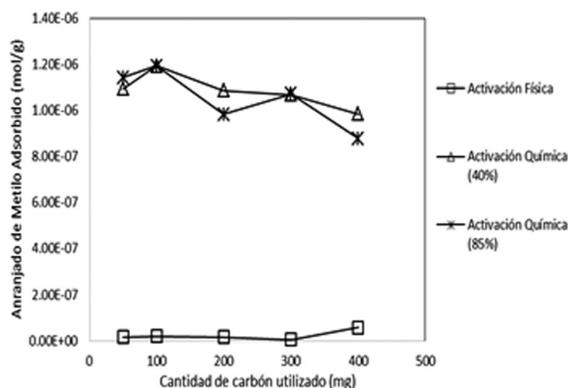


Figura 2. Adsorción de anaranjado de metilo con variación de la cantidad de carbón activado, a tiempo fijo.

Para identificar el tiempo óptimo de adsorción se realizaron pruebas de adsorción en un rango desde 3 a 20 minutos con los tres métodos de activación. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

TABLA 6. CONCENTRACIÓN DE ANARANJADO DE METILO DESPUÉS DE ESTAR EN CONTACTO CON UNA MUESTRA DE 200 MG DE CARBÓN ACTIVADO EN DIFERENTES TIEMPOS ($\times 10^{-5}$ mol/L)

TIPO DE ACTIVACION	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min
Física	3.014849291	3.01263298	3.00820035	3.00820035	3.02149823
Química(40%)	0.924867021	0.75864362	0.92265071	0.76307624	0.85172872
Química(85%)	0.842863475	0.87167553	0.63231383	0.80518617	0.62788121

Tomando los valores de la Tabla 6, y transformándolos a unidades de moles de anaranjado de metilo por unidad de carbón activado obtenemos los resultados que se presentan en la Figura 3.

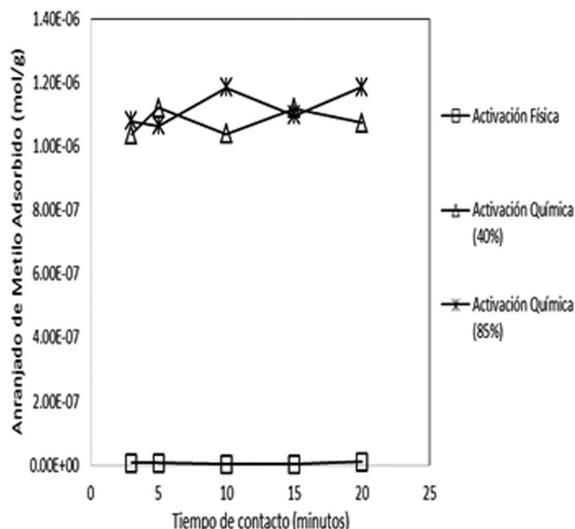


Figura 3. Adsorción de anaranjado de metilo con variación de tiempo de contacto, con tamaño de muestra fijo.

DISCUSIÓN

El menor rendimiento de carbón activado se presentó con la activación química con ácido al 40%, ya que se pierde material con el filtrado así como también durante el secado. El mayor rendimiento se presentó con el método físico, la manipulación es nula durante el proceso y las pérdidas ocurren solamente durante la carbonización.

El mayor contenido de humedad en las muestras resultantes de cada método de activación lo presentó el tratamiento de activación química con ácido al

40%, seguido por la activación física y por último la activación química con ácido al 85%.

La muestra que presentó la mayor densidad aparente fue la tratada con activación química con ácido al 85% siendo poco más de 3 veces mayor que la densidad del carbón obtenido por activación física y casi 1.5 veces mayor que la activación química con ácido al 40%.

El mayor porcentaje cenizas se obtuvo con la activación química con ácido al 40%, siendo más del doble que los otros métodos. Una mayor cantidad de cenizas puede afectar la efectividad del producto final y sirve como referente para la determinación óptima del tiempo de elaboración.

Como se presentó en la Tabla 5 y Figura 2, se probaron varios tamaños de muestra de carbón activado para conocer su comportamiento en la adsorción del anaranjado de metilo. En la Figura 2 se observa que a partir de una muestra de carbón activado de 200 mg se estabiliza la adsorción del anaranjado de metilo, por lo que se tomó esta cantidad como base para evaluar el comportamiento de la adsorción de acuerdo al tiempo de contacto.

La adsorción de una sustancia por carbón activado depende del tiempo de contacto entre ambos hasta alcanzar la saturación, es decir hasta que la cantidad de sustancia adsorbida en el tiempo tiende a estabilizarse. En esta prueba la adsorción se estabilizó a partir de los 10 minutos.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se analizaron dos métodos de obtención de carbón activado a partir de residuos de café para valorar su factibilidad. El método de activación física presentó el mejor rendimiento con un 47.5%, la activación química con ácido fosfórico al ochenta y cinco por ciento presentó un rendimiento del 35% y el de menor rendimiento fue el método que utiliza ácido fosfórico al cuarenta por ciento.

El contenido de humedad después del tratamiento sirve como referencia para conocer el esfuerzo de post tratamiento cuando se evalúa la factibilidad de su producción. A mayor humedad, mayor energía requerida para su secado.

Para el presente estudio el mayor contenido de humedad se presentó con el tratamiento de activación química con ácido al cuarenta por ciento con

un 7.12 %, seguido por la activación física con un 5.33% y por último la activación química con ácido al ochenta y cinco por ciento con un 3.68%.

La densidad aparente es una referencia del peso de producto intermedio en un proceso, a mayor densidad mayor peso y por lo tanto mayor esfuerzo para su manejo en un proceso de producción. En este estudio la mayor densidad aparente la presentó el método de activación química con ácido al ochenta y cinco por ciento con una densidad promedio de 0.913 gramos por mililitro, le siguió la activación química con ácido al cuarenta por ciento con 0.6513 gramos por mililitro y la menor densidad fue presentada por el método de activación física con 0.2823 gramos por mililitro.

La cantidad de cenizas del carbón activado puede afectar la efectividad de su poder de adsorción ya que un alto porcentaje de cenizas indicaría un proceso de activación insuficiente. En el presente estudio se encontró que el mayor porcentaje de cenizas se presentó con el método de activación química con ácido al cuarenta por ciento, reportando un 40% de cenizas, tanto el método de activación física como el método de activación química con ácido al ochenta y cinco por ciento presentaron un porcentaje de cenizas del 16.67%.

La capacidad de adsorción del carbón activado empleando el método de activación física fue la más baja, por lo que se sugiere analizar este método de activación empleando una atmósfera modificada, es decir, reemplazar el oxígeno con algún gas inerte, lo que permitirá aumentar la temperatura de carbonización.

La capacidad de adsorción no presentó diferencias significativas empleando el método de activación química con ácido fosfórico al cuarenta y ochenta y cinco por ciento respectivamente. Cuando se varió la cantidad de carbón de la muestra el método que utiliza ácido al cuarenta por ciento presentó una mejor adsorción, por otra parte cuando se varió el tiempo de contacto la activación con ácido al ochenta y cinco por ciento tuvo un mejor desempeño.

Asimismo, habiéndose realizado las pruebas de cantidad de muestra de carbón activado y tiempo de contacto se determinó que una cantidad de 200 miligramos de carbón activado y un tiempo de contacto de 15 minutos fueron los más adecuados para tener un resultado estable del nivel de adsorción.

A escala de laboratorio se encontró que el método de activación química que utiliza ácido fosfórico al cuarenta por ciento es el que presenta las características más apropiadas para su producción a escala de laboratorio.

REFERENCIAS

- [1] Solís Fuentes, J. A., Téllez, M. M., de Bazúa, M. D., & Ayala, R. T. (2012). Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Tecnología, Ciencia*, 36-48.
- [2] Carbotecnia. (2016). Consultado el 18 de octubre de 2016. Obtenido de <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-carbon-activado/>
- [3] Castilla, C. M. (2004). Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. *Carbon*, 42:83-94.
- [4] Moldes, A., B. C., J. D., & J. P. (2002). Production of a cellulosic substrate susceptible to enzymatic hydrolysis from prehydrolyzed barley husks. *Agr. Food Sci. Finlandia*, 11(1):51-58.
- [5] Cortés, V. H. (1995). Sistema agroindustrial café en México: diagnóstico, problemática y alternativas. Editorial S.A.
- [6] Carbon Link. (2016). Consultado el 24 de Agosto de 2016. Obtenido de <http://www.activated-carbon.com/>
- [7] Secretaría de Economía. (2011). Normas mexicanas (PROY-NMX-F-279-SCFI-2001, PROY-NMX-F-284-SCFI-2011, PROY-NMX-282-SCFI-2011). Obtenido de <http://www.economia-nmx-gob.mx/normas/index.nmx>
- [8] Lehner, Richard (1989). Proyecto planta piloto para carbón activado. Informe Final. Instituto de Ciencias Químicas. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.