

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

MARACAIBO - VENEZUELA



Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- Science Citation Index (SCIExpanded)
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Zentralblatt Für Mathematik
- Current Mathematical Publications
- MathSci (online database)
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

Activated Carbon Prepared from Bituminous Coal with Potassium Hydroxide Activation

Acevedo Sabrina^{1}, Galicia Lissa¹, Plaza Eric², Atencio Reinaldo², Rodríguez Alejandro¹, González Eduardo³*

¹Fundación Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológica (INZIT), Gerencia de Investigación y Desarrollo, Maracaibo, Venezuela. Tel./Fax: (58) 261-7915371. ²Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas ³Instituto de Superficie y Catálisis Universidad del Zulia.

Abstract

Mineral coals from Guasare Paso Diablo Mine, specifically from coal seams IV and V, were activated with potassium hydroxide (KOH), and then characterized through ASTM Standard Test Methods, for instrumental determination of carbon, hydrogen, nitrogen, oxygen, moisture and ash. A low ash percentage was obtained, which made these materials perfect to be used in chemical activation of mineral coal. Surface Area was determined through the Brunauer-Emmett-Teller (BET) method. The morphology of the material was studied by Scanning Electron Microscopy (SEM), and the information about functional groups was obtained with Infrared Spectroscopy (FT-IR). Surface areas of 1386 m²/g and 652 m²/g, were obtained after chemical activation of mineral coal from layer IV and V, respectively, after activation with 60% m/m KOH solution. 30% m/m KOH solution produced activated carbon with lower surface area. This KOH concentration was unable to break the carbon bonds and form a real porous structure in the material. The adsorptive capacity of the materials was obtained by mean of methylene blue number and the iodine number, which was determined according to the ASTM D-4607-94 method for activated carbon. The higher iodine adsorption was 1083 mg/g for mineral coal from layer IV, while for activated coal from layer V a value of 711 mg/g was obtained. The methylene blue indexes of the materials were 149 mg/g and 145 mg/g for coal from layers IV and V, respectively. The SEM micrographs showed a porous structure of the materials with micropores and mesopores size distribution. Chemical analysis demonstrated that activated carbon with oxygen groups was obtained in all cases, according to FT-IR analysis.

Key words: Coal; mineral; KOH; surface area; activated carbon.

Carbón activado preparado a partir de carbón mineral bituminoso activado con hidróxido de potasio

Resumen

Carbones minerales de la mina Paso Diablo en Guasare, específicamente aquellos ubicados en los mantos IV y V de la mina Paso Diablo, fueron activados químicamente con hidróxido de potasio (KOH). La caracterización fue realizada por medio de normas ASTM, para la determinación del porcentaje de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre, humedad y cenizas, obteniéndose porcentajes bajos de cenizas, lo cual es ventajoso para el uso de estos materiales como precursores en la preparación de carbón activado. El área superficial fue determinada por el método Brunauer-Emmett-Teller (BET). El estudio morfológico y químico se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopía de infrarrojo (IR-TF). El tratamiento del carbón mineral con KOH al 60% m/m produjo su activación. Las áreas superficiales de los

materiales obtenidos fueron de 1386 m²/g y 655 m²/g para los carbones activados procedente del manto IV y manto V, respectivamente. La activación con KOH al 30 % m/m, produjo materiales con áreas superficiales menores en todos los casos; esto debido a que la concentración de KOH no fue suficiente para romper los enlaces carbono-carbono (C=C) y generar la estructura porosa del material. La capacidad adsorptiva de los materiales fue estudiada por medio de los índices de azul de metileno y yodo (ASTM D4607-94). El máximo de adsorción de yodo fue obtenido en el carbón mineral activado procedente del manto IV con un valor de 1083 mg/g, mientras que para el procedente del manto V fue de 711 mg/g. Los materiales presentaron índice de azul de metileno de 145 mg/g y 149 mg/g para carbones activados procedentes del manto IV y V, respectivamente. Las micrográficas obtenidas por microscopía electrónica de barrido muestran una estructura porosa del material, con distribución de microporos y mesoporos. Para los todos los casos se obtuvo carbones activados funcionalizados con grupos oxigenados, según análisis por IR-TF.

Palabras clave: Carbón; mineral; KOH; área superficial; activado

Introducción

La producción de carbones activados se ha visto notablemente incrementada en las dos últimas décadas, dada sus amplias posibilidades de aplicación, estos se pueden obtener a partir de diversos precursores carbonáceos [1], por lo que se ha generado una creciente demanda internacional de estos adsorbentes, en la búsqueda de nuevas fuentes de materia primas, de disponibilidad segura y de bajo costo. El carbón activado es un término general que denomina a toda una gama de productos derivados de materiales porosos con una elevada área superficial, por lo que es capaz de adsorber una diversidad de sustancias tanto gaseosas como líquidas, siendo este hecho consecuencia de la gran área superficial que éste posee [2-4]. En la actualidad es ampliamente utilizado para remover el color, olor, sabor y un sin número de contaminantes orgánicos e inorgánicos y además como agente bactericida durante el tratamiento de agua para el uso doméstico e industrial [5,6].

Actualmente el 60% de los carbones activados producidos a nivel mundial se obtienen a partir de carbón mineral [7], una parte de este carbón activado se destina a la eliminación de contaminantes procedentes de sectores muy variados, tanto en gases (sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, vapores de gasolina), como en líquidos (aguas industriales, aguas residuales, tintorerías [8]). Existen diferentes métodos de activación para preparar carbones activados, anteriormente en otras investigaciones se han enfocado en la preparación aplicando el proceso de activación física, utilizando vapor de agua, CO₂ y O₂ [9,10], o la activación química utilizando cloruro de zinc (ZnCl₂) [11] y ácidos inorgánicos como agentes activante (ácido fosfórico (H₃PO₄)) [12]. El empleo de álcalis como hidróxidos de sodio o potasio (NaOH y KOH) también se han empleado para la activación de materiales carbonáceo y se han logrado obtener áreas superficiales en el orden de 2000 m²/g [4,6]. La producción de carbón activado a partir de carbón mineral venezolano y en particular de carbón mineral zuliano reviste gran importancia ya que se enmarca dentro de

la necesidad de dar valor agregado a un recurso natural de suma importancia. En este sentido el objetivo de este trabajo es preparar carbón activado a partir de carbón mineral tipo bituminoso empleando hidróxido de potasio como agente activante.

Parte Experimental

Recolección de muestras

El carbón mineral se recolectó de la Mina Paso Diablo de la cuenca Carbonífera Guasare, Edo. Zulia, Venezuela, específicamente del manto IV (C.M (IV)) y manto V (C.M (V)), empleando la norma para muestreo de ASTM D-2234 [13], las muestras se prepararon según la norma, fueron trituradas en un molino de mandíbula, y una segunda trituración se hizo en un molino de disco y se tamizó las muestras para obtener tamaño de partículas de 0,250 mm (tamiz 60), para ello se empleó la norma ASTM-D2013-04 [14].

Preparación del Carbón Activado

El proceso de impregnación se llevó a cabo mediante el siguiente procedimiento: a 20 gramos del carbón mineral se le adicionó hidróxido de potasio (KOH) a diferentes concentraciones a 60 y 30 % m/m, con una relación de masa de activación (r) activante/carbón mineral, (g KOH/g carbón mineral) de 1,5 y 3,0. La mezcla obtenida se colocó en una plancha de agitación con calentamiento a 85 °C por 3 horas. Transcurrido este tiempo, se dejó reaccionar por 24 horas, a temperatura ambiente [4]. El proceso de pirolisis se realizó en una mufla empleando una rampa de calentamiento de 200°C por 1 hora (para evaporar el agua y dispersar el KOH) y 700 °C por 1 hora (proceso de pirolisis). Transcurrido este tiempo, las muestras se lavaron con ácido clorhídrico 0,01 M y agua destilada hasta alcanzar un pH ~ 7. Posteriormente, se llevó a un horno a 105 °C para secar las muestras hasta masa constante. Los materiales obtenidos fueron finalmente almacenados en un desecador [2].

Caracterización del Carbón Activado

Para la caracterización de las muestras de carbón mineral se realizaron por normas ASTM, análisis próximos [15], tales como; humedad, materia volátil, cenizas y análisis últimos [16] tales como: porcentaje de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre total y oxígeno por diferencia, empleando un analizador elemental C,H,N marca Leco y para el azufre equipo analizador de azufre marca Leco. Se determinó las áreas superficiales y el volumen total de poros presentes en las muestras utilizando el modelo de Brunauer-Emmett-Teller (BET) [17], realizando las isotermas de nitrógeno a 77 K empleando un equipo de fisisorción y quimisorción marca Micrometrics ASAP-2010. La morfología de las muestras fue determinada por Microscopía Electrónica de Barrido en un equipo FEI Quanta 200. Las muestras se caracterizaron químicamente por medio de Espectroscopia de Infrarrojo marca Perkin Elmer, las propiedades adsorptivas de los materiales se determinaron con los índices de yodo (ASTM D-4607-04) [18] y azul de metileno [19], el cual se basa en la determinación del valor q (mg de azul de metileno/g carbón activado) de una solución estándar de azul de metileno de 150 mg/L adsorbida por muestra de 0,1 g de carbón activado durante 10 horas. La cantidad adsorbida de azul de metileno se determinó mediante análisis químico UV-visible a una longitud de onda de 660 nm.

Resultados y Discusión

El análisis próximo e último de los precursores expresados en base seca y la humedad total previa a los análisis, se presentan en la Tabla 1 y 2. El análisis de cenizas totales es un buen indicador de la calidad del carbón mineral y por lo tanto, del carbón activado que se va a preparar. En este sentido, el contenido de cenizas de los diferentes mantos es bajo, lo cual justifica su empleo para la producción de carbones activados, ofreciendo ventajas en el uso potencial de los carbones activados para el saneamiento de aguas subterráneas o en potabilización de agua [5]. Los resultados indican pocas diferencias significativas de material volátil entre mantos

En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis último del carbón mineral, observándose pequeñas diferencias en los análisis siendo el C.M (IV) el que tiene mayor porcentaje de carbono y de oxígeno. Ambos carbones presentan cantidades bajas de azufre total, el cual es una combinación de azufre orgánico, pirítico y sulfatos (este último de haber oxidación) comúnmente presentes en la química del carbón mineral [20].

La Tabla 3, muestra los resultados de la aplicación del método de Brunauer- Emmett-Teller (BET) de N₂ a 77 K sobre los carbones activados preparados y sobre los diferentes carbones minerales. Se obtuvo un máximo de

Tabla 1.
Análisis próximo del Carbón Mineral. %m/m

Carbón Mineral	% Carbono Fijo* Prom ± DS	% Ceniza* Prom ± DS	% Materia Volátil* Prom ± DS	% Humedad Total Prom ± DS
C.M (IV)	58,1± 0,3	3,5± 0,3	38,4± 0,1	3,2± 0,2
C.M (V)	55,6± 0,4	5,7± 0,1	38,8± 0,2	5,8± 0,3

*Base seca; Prom: promedio; DS: desviación estándar

Tabla 2.
Análisis último del Carbón Mineral. %m/m

Carbón Mineral	% Carbono Prom ± DS	%Hidrógeno Prom ± DS	%Oxígeno* Prom ± DS	% Nitrógeno Prom ± DS	% Azufre Total Prom ± DS
C.M (IV)	81,56 ± 0,51	5,39 ± 0,05	7,19 ± 0,45	1,54 ± 0,01	0,81 ± 0,05
C.M (V)	80,02 ± 0,17	5,44 ± 0,01	6,28 ± 0,76	1,48 ± 0,05	1,13 ± 0,09

Prom: promedio; DS: desviación estándar; * Estimado por diferencia

Tabla 3.
Resultados texturales y porosos del carbón activado

Carbón Activado	S _{BET} (m ² /g)	V _p poro (cm ³ /g)	V _{micro} (cm ³ /g)	V _{meso} (cm ³ /g)	r (nm)
C.M (IV)	< 5	-	-	-	-
C.M (V)	< 5	-	-	-	-
C.A (IV) r=3	1386	0,730	0,395	0,335	1,040
C.A (V) r=3	655	0,550	0,017	0,537	1,690
C.A (IV) r=1,5	59	0,180	0,0056	0,170	6,060
C.A (V) r=1,5	20	0,060	0,0023	0,057	5,910

SBET: área superficial, Vt: volumen total de poros, Vmicro: volumen de microporos, Vmeso: volumen de mesoporos, r: radio de poros.

área superficial de la activación del carbón C.M (IV) de 1386 m²/g y para C.M (V) de 655 m²/g, con r = 3. Cuando se activaron los diferentes carbonos con r = 1,5 se observó una disminución considerable del área superficial, debido a que la concentración de KOH no fue suficiente para romper los enlaces carbónicos y poder formar porosidad en el material. El carbón mineral bituminoso es conocido como de alto rango, el cual ha pasado por muchos procesos geoquímicos [21,22].

Los diferentes carbonos minerales no presentan un área superficial específica significativa (< 5 m²/g), además, no poseen porosidad, según lo determinado por el método convencional de BET aplicado a 77 K. El aumento del área superficial del carbón mineral después de la activación de KOH (Tabla 3) es notable, indicando que la activación química con KOH produce estructura porosa en el precursor, siendo efectiva para producir carbón activado con área superficial elevada.

En este sentido, los carbonos activados obtenidos a partir de C.M (IV), presentan mayores áreas superficiales que los obtenidos a partir de C.M (V). Según los resultados del análisis a las muestras de C.M (IV), estas presentan una baja concentración de cenizas y azufre, por lo cual se deduce que la misma debe estar poco alterada; mientras que en el caso de la muestra C.M (V) se evidencian valores relativamente más altos para las mismas variables, hecho que conduce a inferir cierto estado de alteración o modificación de la macroestructura carbonosa, mediante procesos que tienden a concentrar materiales inorgánicos inmóviles y son consecuencia de la acción de los agentes meteorizantes [22,23]. Estos factores podrían ser las posibles causas de las diferencias obtenidas en las medidas de área superficial de los carbonos activados analizados.

En la Figura 1, se muestra las isotermas de adsorción de los materiales recolectados. Según la clasificación de la IUPAC, los carbonos obtenidos con relación de masa r = 3 para los diferentes tipos de carbón mineral muestran isotermas del tipo I, las cuales son características de adsorbentes que tienen poros extremadamente pequeños; la adsorción se produce a bajas presiones relativas. Los carbonos activados preparados con relación r = 1,5 presentan isotermas de adsorción de tipo III, las cuales son características de interacciones débiles adsorbato-adsorbente; ocurren cuando la interacción adsorbato-adsorbente es baja y se diferencian por tener un tramo asintótico [1]. En los carbonos minerales, la forma de las

isotermas no expresa el comportamiento típico para una porosidad determinada por no desarrollar área superficial específica [24].

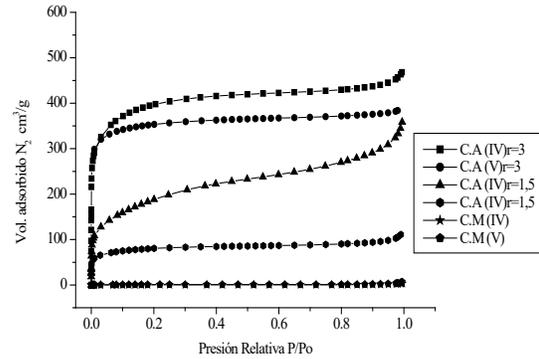


Figura 1. Isoterma de Adsorción de Nitrógeno sobre carbón mineral y carbón activado a 77 K, según método convencional de Brunauer-Elmer-Teller (BET).

Adsorción de Azul de Metileno

El azul de metileno (A.M) es el compuesto más usado en la evaluación del poder decolorante del carbón activado y su adsorción da indicios de la presencia de macro y mesoporos [25]. Se evaluó la capacidad adsorptiva del carbón activado en la decoloración de una solución de azul de metileno de concentración 150 mg/L. Los resultados se muestran en la Tabla 4 e indican que a mayor concentración de hidróxido de potasio, mayor es la adsorción de azul de metileno. El carbón activado proveniente del C.M (IV) presenta mayor índice de azul de metileno en concordancia con los resultados del área superficial y de volúmenes de mesoporos.

Adsorción de Yodo

La adsorción de yodo se realizó con el propósito de establecer la capacidad de los carbonos activados preparados por activación química, de adsorber moléculas de diámetro pequeño, el cual está relacionado con el volumen de microporos del material [8]. Los resultados del índice de yodo se muestran en la Tabla 5. Los resultados muestran que C.A (IV) r = 3 obtuvo el máximo de adsorción de yodo, en concordancia con los resultados de área superficial y de volumen de microporos. Los

Tabla 4
Índice de Azul de Metileno

Carbón Activado	C.A(IV) r=3 Prom ± DS	C.A(V) r=3 Prom ± DS	C.A (IV) r=1,5 Prom ± DS	C.A (V) r=1,5 Prom ± DS
q	149,78±1,17	143,33±1,98	79,11±2,86	48,43± 2,05

Prom: promedio; DS: desviación estándar; q: (mg A.M/g carbón activado)

carbones activados con $r = 1,5$, presentan disminuciones considerables de la adsorción de yodo, debido a que estos poseen volumen de microporos muy pequeños y además que la concentración de KOH no fue suficiente para lograr una activación del carbón mineral.

La química funcional de los materiales obtenidos se estudió por medio de IR-TF. Los resultados se muestran en la Figura 2. Se observan bandas características a 3402 cm^{-1} , las cuales son atribuidas a grupos hidroxilo (O-H); a 3020 cm^{-1} , aparece una banda que corresponde a vibraciones de tensión aromática; los picos a 2918 cm^{-1} y 2852 cm^{-1} corresponden a tensión de compuestos alifáticos C-H; La señal que aparece a 1680 cm^{-1} es atribuida a grupos carbonilos C=O, los cuales son los más susceptibles a la reacción con ácidos y bases [26]. También se observan bandas de vibraciones de tensión a 1601 cm^{-1} propias de C=C; La banda de flexión en el plano a 1440 cm^{-1} y la flexión simétrica a 1372 cm^{-1} , corresponden a la presencia de grupos CH_2 y CH_3 respectivamente. Una señal intensa a 1030 cm^{-1} es debido a la flexión C-O-C. Las bandas características de las deformaciones de sustitución de anillos aromáticos fuera del plano se observan y asignan de la siguiente manera: gCH_{AR1} (867 cm^{-1}); gCH_{AR2} (802 cm^{-1}); gCH_{AR3} (740); gCH_{AR4} (700); gCH_{AR5} (619) [27]. La similitud entre los espectros de los carbones minerales analizados indican que su naturaleza química no cambia según los mantos de procedencia [19].

Luego de la activación química con KOH se pueden observar en los espectros de infrarrojo, que muchas bandas características desaparecen por efecto del proceso de activación, manteniéndose las señales de los grupos hidroxilos a 3384 cm^{-1} ; grupos vinílicos C=C a 1580 cm^{-1} ; C=O a 1750 cm^{-1} y C-H ($2918\text{-}2853\text{ cm}^{-1}$), aunque en menor intensidad con respecto a la materia prima. La banda que se observa a 1033 cm^{-1} , corresponde a las especies formadas por el agente activante [26]. Los resultados IR-TF indican cambios químicos en el precursor debido a la reacción con el agente activante KOH. Estos cambios son producto de reacciones de deshidrogenación y oxidación, debido al ataque directo del KOH al centro carbonáceo del carbón mineral, esto conduce al logro de mayores cadenas alifáticas [26-29]. La activación inicialmente se obtiene por una reacción redox, donde el carbono se oxida a CO o CO_2 , creando porosidad y como resultado, el potasio se reduce a potasio metálico, el cual se intercala entre las capas de grafeno de la estructura de las partículas de carbono [1,30]. Todo ello contribuye al aumento del área

superficial. En comparación con otros agentes activantes, el KOH es una molécula pequeña en comparación con el agente activante más utilizado H_3PO_4 [4,31], permitiendo un aumento en la velocidad de la reacción y el desarrollo poroso del carbón activado [32].

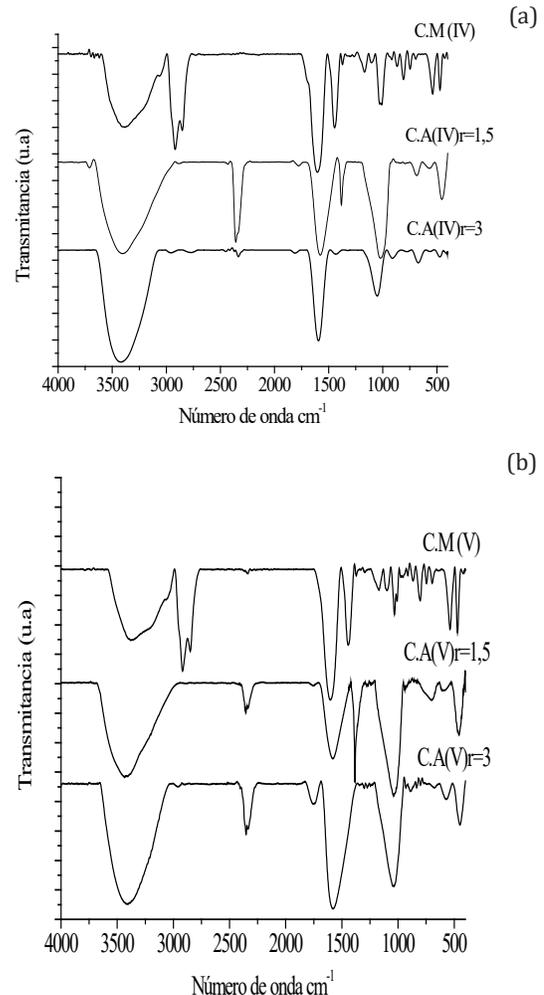


Figura 2. Espectros de Infrarrojo de carbón mineral y carbón activado: (a) Manto IV; (b) Manto V

En la Figura 3 (a-f), se muestran las micrografías obtenidas por MEB, de los diferentes carbones minerales y de los productos de activación obtenidos. El análisis indica la formación de la estructura porosa (mayor activación) a

Tabla 5. Índice de Yodo

Carbón Activado (C.A)	C.A (IV) r=3 Prom ± DS	C.A (V) r=3 Prom ± DS	C.A (IV) r=1,5 Prom ± DS	C.A (V) r=1,5 Prom ± DS
Mg I, adsorbidos/g C.A	1083,73 ± 4,93	711,21 ± 3,56	97,32 ± 2,56	86,45 ± 1,85

Prom: promedio, DS: desviación estándar

medida que aumenta la relación (r) del agente activante. Debido a los resultados obtenidos, en la Figura 3 (d y f) se observa la mayor formación porosa del carbón activado ($r = 3$).

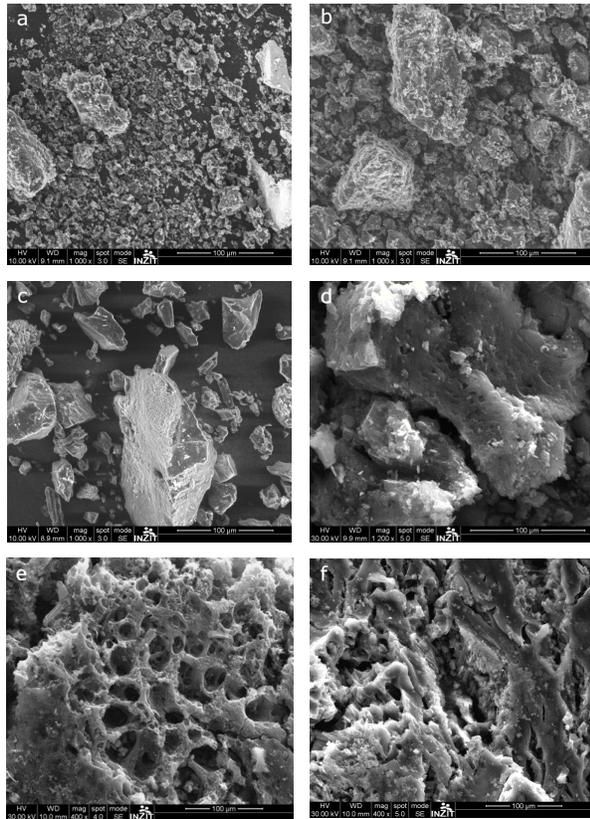


Figura 3. Micrografías MEB de carbón mineral y carbón activado (a) C.M (IV); (b) C.M (V); (c) C.A (IV) $r = 1,5$; (d) C.A (V) $r = 1,5$; (e) C.A (IV) $r = 3$ y (f) C.A (V) $r = 3$

Conclusiones

Se preparó carbón activado a partir de carbón mineral empleando diferentes relaciones de masa de KOH. Las propiedades fisicoquímicas del precursor proporcionan características distintas al carbón activado preparado, variando las características porosas de la materia obtenida. Cuando se empleó una relación $r = 3$ de KOH, se obtuvo mejores propiedades superficiales, con un máximo de adsorción de yodo de 1083 mg/g y de área superficial de 1386 m²/g. La activación con $r = 1,5$ no fue suficiente para lograr una activación del carbón mineral de distintos mantos, esto se debe a las propiedades fisicoquímicas del precursor, dado que siendo un carbón mineral del tipo bituminoso tiene enlaces químicos más estables y se necesita concentraciones altas de KOH para modificar su estructura. La activación de carbón mineral con KOH,

representa una ruta de síntesis amigable con el ambiente, lo que le da valor agregado a los productos obtenidos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al FONACIT por los recursos LOCTI otorgados para el financiamiento del proyecto, y al Instituto de Superficies y Catálisis de la Universidad del Zulia, por la colaboración brindada en la toma de datos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Marsh H. y Rodriguez-Reinoso F, "Activated Carbon". Activated Carbon Elsevier Science Ltd. Oxford. (2006) 1-542.
- [2] Acevedo S., Colina M., Díaz A., Fernández N., Behling E. y Marín J.: "Chemical activation of sugar cane bagasse (Saccharum officinarum) on nickel (II) adsorption in industrial effluents/ Activación química del bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en la adsorción de níquel (II) en efluentes industriales". Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, Vol. 30, No. 3 (2007) 244–252.
- [3] Castro J., Bonelli, Cerrella E. y Cukierman A.L.: "Phosphoric acid activation of agricultural residues and bagasse from sugar cane: Influence of the experimental conditions on adsorption characteristics of activated carbons". Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 39, No. 11 (2000), 4166–4172.
- [4] Jibril B., Al-maamari R., Houache O., Al-aamri M., Al-qalhati A. y Khod A.: "Effects of H₃PO₄ and KOH on pyrolysis of bituminous coal in preparation of activated carbon". Journal of Applied Science Research ,Vol. 3, No. 11 (2007) 1343–1351.
- [5] Sánchez K., Colina G., Pire M y Díaz A.: "Adsorption capacity of activated carbon on total chromium from tannery waste/ Capacidad de adsorción del carbón activado sobre cromo total proveniente de los desechos de tenerías". Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, Vol. 36, No. 1, (2013) 45–52.
- [6] Acevedo S., Arevalo-Fester J., Galicia L., Atencio R., Plaza E y Gonzalez E.: "Efficiency study of silver nanoparticles (AgNPs) supported on granular activated carbon against Escherichia coli". J. Nanomedicine Res., Vol. 1, No. 2, (2014) 4–8.
- [7] Acevedo B., Barriocanal C., Lupul I y Gryglewicz G.: "Properties and performance of mesoporous activated carbons from scrap tyres, bituminous wastes and coal". Fuel, Vol. 151, (2015) 83–90.
- [8] Prauchner M. y Rodríguez-Reinoso F.: "Preparation of granular activated carbons for adsorption of natural gas". Microporous Mesoporous Mater., Vol. 109, No. 1, (2008) 581–584.

- [9] Hsu L.-Y. y Teng H.: "Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal". *Fuel Process. Technol.*, Vol. 64, No. 1-3, (2000) 155–166.
- [10] Wang Q., Zhang X., Xu D. y Chen Q.: "Effect of pre-oxidation on the properties of crushed bituminous coal and activated carbon prepared therefrom". *J. China Univ. Min. Technol.*, Vol. 17, No. 4, (2007) 494–497.
- [11] Namasivayam C. y Sangeetha D.: "Removal and recovery of nitrate from water by $ZnCl_2$ activated carbon from coconut coir pith, an agricultural solid waste". *Indian Journal of Chemical Technology*, Vol. 12, No. 1 (2005) 513–521.
- [12] J. Xu, L. Chen, H. Qu, Y. Jiao, J. Xie, and G. Xing, "Preparation and characterization of activated carbon from reedy grass leaves by chemical activation with H_3PO_4 ". *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 320, (2014). 674–680.
- [13] ASTM D-2234, "Standard Practice for Mechanical Sampling of Coal 1," Vol. I, No. 5, (2003).
- [14] ASTM D-D2013, "Standard Practice for Preparing Coal Samples for Analysis 1," (2004).
- [15] ASTM D-3172, "Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke," Vol. 89, (2002).
- [16] ASTM D-3176, "Ultimate analysis of coal and coke," Vol. 89, (2002).
- [17] Brunauer S., Emmett P y Teller E.: "Gases in Multimolecular Layers," *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 60, no. 1, (1938) 309–319.
- [18] ASTM D-4607-94, "Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon". (2006).
- [19] Namane A., Mekarzia A., Benrachedi K., Belhaneche-Bensemra N. y Hellal A.: "Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with $ZnCl_2$ and H_3PO_4 ". *J. Hazard. Mater.*, Vol. 119, No. 1–3, (2005) 189–94.
- [20] Alciaturi C., Escobar M. y Vallejo R.: "Prediction of coal properties by derivative DRIFT spectroscopy". *Fuel*, Vol. 75, no. 4, (1996) 491–499.
- [21] Alciaturi C., Escobar M., De La Cruz C. y Vallejo R.: "Determination of chemical properties of pyrolysis products from coals by diffuse-reflectance infrared spectroscopy and partial least squares". *Anal. Chim. Acta*, Vol. 436, No. 2, pp, (2001) 265–272.
- [22] Martínez M y. Escobar M.: "Effect of coal weathering on some geochemical parameters". *Org. Geochem.*, Vol. 23, No. 3, (1995). 253–261.
- [23] Parra Y., Esteves I., Escobar M. y. Portillo E.: "Study of Maracaibo Lake water-coal interaction/ Estudio de la interacción del carbón mineral con agua del Lago de Maracaibo". *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 31, (2008) 12–21.
- [24] Poleo N., Oliveros S., Colina M., Rincón N., Mesa J y Colina G.: "Estudio de diferentes activantes químicos en la obtención de carbón activado a partir de la cáscara de *Hymenaea courbaril* L para la remoción de cadmio (II)". *Rev. Tec. Ing., Univ. Zulia*, Vol. 33, No. 1, (2010) 29–38.
- [25] Sarmiento C., Sánchez J., García C. y Rinc Y.: "Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral". *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 12, No. 1, (2004) 52-63.
- [26] Romanos J., Beckner M., Rash T., Firlej L., Kuchta B., Yu P., Suppes G., Wexler C. y P. Pfeifer P.: "Nanospace engineering of KOH activated carbon". *Nanotechnology*, Vol. 23, No. 1, (2012) 1-8.
- [27] Romanos J., Beckner M., Stalla D., Tekeei A., Suppes G., Jalisatgi S., Lee M., Hawthorne F., Robertson J., Firlej L., Kuchta B., Wexler C., Yu P. y Pfeifer P.: "Infrared study of boron-carbon chemical bonds in boron-doped activated carbon," *Carbon N.Y.*, Vol. 54, (2013) 208–214.
- [28] Cuhadaroglu D y Uygun O. "Production and characterization of activated carbon from a bituminous coal by chemical activation". *African J. Biotechnol.*, Vol. 7, no. 20, (2008) 3703–3710.
- [29] Muniandy L., Adam F., Mohamed R. y Ng E.: "The synthesis and characterization of high purity mixed microporous/mesoporous activated carbon from rice husk using chemical activation with NaOH and KOH". *Microporous Mesoporous Mater.*, Vol. 197, 2014, 316–323.
- [30] Yan L y Sorial G.: "Chemical activation of bituminous coal for hampering oligomerization of organic contaminants". *J. Hazard. Mater.*, Vol. 197, 2011, 311–319.
- [31] Derbyshire F., Jagtoyen., M., Groppo J.: "Activated carbons from bituminous coals by reaction with H_3PO_4 : The influence of coal cleaning", *Fuel Processing Technology*, Vol. 34, No. 2 (1993) 85-96.
- [32] Shengming Y., Yueming L y Pan N.: "KOH activated carbon/graphene nanosheets composites as high performance electrode materials in supercapacitors". *RSC Adv.*, Vol. 4, No. 90, 2014, 48758–48764.

Recibido el 10 de Febrero de 2015
En forma revisada el 27 de Junio 2016



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 39. N°2, Agosto 2016_____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada
en Agosto de 2016, por el **Fondo Editorial Serbiluz,**
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve