

Capacidad adsortiva del carbón activado proveniente de *Hymenaea courbaril* L. y *Saccharum officinarum* (CAB) en la remoción de CO₂

Deinnisse Andreína Cambar Galindo^{1*}, Gilberto de Jesús Colina Andrade¹,
Marinela Colina², Sedolfo José Carrasquero Ferrer¹, Alberto Córdova¹ y Julio Marín¹

¹Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Facultad de Ingeniería,

²Laboratorio de Química Ambiental, Facultad Experimental de Ciencias,
Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela

Recibido: 01-11-12 Aceptado: 15-08-13

Resumen

Se evaluó la capacidad adsortiva del carbón activado proveniente de la cáscara de *Hymenaea courbaril* L. y el bagazo de *Saccharum officinarum* en la remoción de CO₂. Los precursores fueron secados, molidos y tamizados hasta obtener una granulometría adecuada, luego se sometió la muestra a una activación química utilizando como activante el H₃PO₄. La caracterización de los carbones se realizó mediante un análisis fisicoquímico que abarcó densidad aparente, el contenido de cenizas y humedad y el número de yodo descritos en las normas ASTM. Se realizaron ensayos de adsorción de CO₂ en columna de lecho fijo con parámetros de operación constantes, determinando el punto de ruptura y evaluando el ajuste al modelo del tiempo de servicio del lecho profundo (BDST), utilizando carbón activado comercial (CAC) como patrón de referencia y los carbones del laboratorio que presentan proporciones diferentes de los precursores (50:50, 25:75 y 75:25), se obtuvo que el CAB-75:25 tiene un tiempo de ruptura observado de 10,2 min y adjudicándose una capacidad adsortiva de 60% de CO₂ retenido. El CAC presentó la mayor densidad aparente con un 0,39 g/mL el menor contenido de ceniza y de humedad 8,12 y 4,32 respectivamente. El modelo de tiempo de servicio de lecho profundo (BDST) se ajustó muy bien a todos los carbones especialmente al CAB-50:50 con una correlación R:0,98.

Palabras clave: carbón activado, dióxido de carbono, adsorción.

Adsorptive capacity of activated carbon from *Hymenaea courbaril* L. and *Saccharum officinarum* (CAB) on the CO₂ remotion

Abstract

The ability of activated carbon adsorptive shell from *Hymenaea courbaril* L. and bagasse *Saccharum officinarum* in CO₂ removal. Precursors were dried, ground and sieved to obtain a suitable particle size, then the sample was subjected to a chemical activation using as activating the H₃PO₄. The characterization of coals was made using a physicochemical analysis included

Autor para la correspondencia: deinnissecambar@gmail.com

bulk density, ash and moisture content and iodine number described in ASTM standards. Assays were performed CO₂ adsorption fixed bed column with constant operating parameters, determining the breaking point and evaluating the model fit the service time of deep bed (BDST) using commercial activated carbon (CAC) as pattern reference laboratory and coals having different proportions of the precursors (50:50, 25:75 and 75:25), it was found that the CAB-75:25 has an observed rupture time of 10.2 min and clinching one adsorptive capacity of 60% of CO₂ retained. The ACC had the highest apparent density 0.39 g/mL the lowest content of ash and moisture 8.12 and 4.32 respectively. The service time model of deep bed (BDST) was adjusted very well to all coals 50:50 CAB-especially with a correlation R: 0.98.

Keywords: activated carbon, carbon dioxide adsorption.

Introducción

En la actualidad se considera que los gases invernaderos han contribuido enormemente con los cambios climáticos del planeta, uno de ellos es el dióxido de carbono que es producido principalmente por la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía y el resto de las emisiones son provocadas por los tubos de escape de los vehículos (1). Es de suma importancia darle un mejor uso a éste gas, generado por diferentes actividades especialmente las antropogénicas. La captación o recuperación del CO₂ resulta beneficioso ya que se podría utilizar como materia prima para llevar a cabo otros procesos e incluso generar productos nuevos, para ello el proceso de adsorción a través del carbón activado es una opción interesante debido a su gran capacidad adsorptiva, excelente estabilidad física y química, posibilidad de regeneración (2), además tiene facilidad de producción a partir de casi cualquier materia prima carbonosa (3). Actualmente, se ha incrementado la producción de éste sólido adsorbente a partir de diversos precursores especialmente los provenientes de desechos agrícolas que disminuyan los costos, como la cáscara de maní, de coco, bagazo de caña entre otros.

Para la obtención del carbón activado es necesario que los precursores sean sometidos a diferentes procesos de activación que puede ser química o física, en los cuales el precursor es impregnado con diversos agentes, tales como, el H₃PO₄, KOH, CO₂ entre otros. El bagazo de la caña de azúcar se ha

utilizado para la preparación de estos carbones, demostrando su versatilidad para la remoción de contaminantes en fase líquida y gaseosa, además de eliminar impurezas coloreadas, pigmentos (naturales y formados durante el proceso) y constituyentes inorgánicos (4, 6).

En este trabajo se estudió la adsorción de CO₂ sobre carbones activados preparados a partir de la mezcla de la cáscara de algarrobo y el bagazo de caña de azúcar en diferentes proporciones.

Materiales y métodos

Preparación del carbón activado

Se tomaron muestras de bagazo de caña de azúcar y cáscaras de algarrobo, precursores que individualmente en investigaciones anteriores han demostrado desarrollar alta área superficial y estructura porosa adecuada para la adsorción de compuestos aromáticos y metales pesados (5, 6). Al fruto del algarrobo se les ha eliminado la semilla y la pulpa, se lava con agua destilada a temperatura ambiente para eliminar sucios e impurezas, inmediatamente las muestras se sometieron a un secado de 3 a 5 h aproximadamente a una temperatura de $110 \pm 0,1$ °C hasta peso constante, luego los precursores fueron molidos y tamizados por separado con la ayuda de un Juego de tamices N° 6 y 4, hasta alcanzar un tamaño de partícula que garantice un carbón activado granu-

lar con un diámetro de partícula de (0,850 mm < dp < 1mm).

Posteriormente, se pesaron 25 g de cada precursor en una balanza analítica marca Ohaus Analytical Plus, para obtener una mezcla final de 50 g, el material pesado se colocó en un recipiente de vidrio de 1000 mL y se les adicionó 40 mL de H_3PO_4 al 40% p/p, resultando una mezcla de consistencia pastosa que se dejó reaccionar por espacio de 1h en el recipiente de vidrio sellado con parafina. De esta forma la relación precursor-ácido utilizada fue de 1,25. El producto obtenido se carbonizó en una Mufla SR 5000 Series calentada eléctricamente a una temperatura de activación de 500 °C durante un periodo de 1 hora bajo una campana de extracción. El carbón preparado fue lavado con agua destilada a una temperatura de $95 \pm 0,1^\circ C$, y también se le agregó una solución alcalina de Hidróxido de sodio (NaOH) 0,02N a temperatura ambiente y en agitación hasta ajustar el pH entre 6,5 y 7(7). Para las mediciones y el ajuste del pH se usó el pH-metro marca OAKTON® y el Agitador mecánico tipo batch, marca BurrellScientific modelo 75. Finalmente, el carbón fue secado a $110^\circ C$ hasta peso constante por espacio de dos días para remover la humedad presente. Se procedió a utilizar los tamices N° 20 y 18 para obtener un carbón con un diámetro de partícula (0,850 mm < dp < 1mm). Por último el carbón fue llevado al desecador hasta el día de su utilización en los diferentes análisis. Los carbones activados fueron preparados a partir de mezclas de los precursores en tres diferentes proporciones obteniéndose tres tipos de carbón CAB 25:75 (Carbón activado obtenido a partir de 25% de cáscara de algarrobo y 75% de bagazo de caña de azúcar), CAB 50:50 (Carbón activado con 50% de cáscara de algarrobo y 50% del bagazo de caña de azúcar y CAB 75:25 (Carbón activado con un 75% de cáscara de algarrobo y un 25% del bagazo de caña de azúcar).

Los carbones fueron lavados y ajustados a un pH de 6,5-7,05. También se preparó carbones activados de algarrobo de una,

dos y tres horas de impregnación (CAA-1, CAA-2, CAA-3) respectivamente y carbones activados de bagazo de caña de una, dos y hasta tres horas de impregnación (CAB-1, CAB-2, CAB-3), con un procedimiento similar al explicado anteriormente pero variando el precursor y el tiempo de impregnación. Cabe destacar que el carbón activado comercial (CAC) fue obtenido por medio de una empresa que utilizó para su preparación activación física.

Caracterización fisicoquímica de los carbones activados

Para realizar la caracterización del CAC y de los carbones activados obtenidos de la cáscara de *Hymenaea courbaril* L. y el bagazo de *Saccharum officinarum* en las proporciones CAB 50-50, CAB 75-25 y CAB 25-75 se llevó a cabo la determinación de los siguientes parámetros: densidad aparente ASTM D 2854-96 (8), contenido total de ceniza ASTM D 2866-94 (9), contenido de humedad ASTM D 2867-99 (10). Por otra parte, la determinación del contenido de átomos de carbono, hidrógeno y nitrógeno en los precursores originales como la cáscara de algarrobo cruda y el bagazo de caña, incluyendo también a los carbones activados preparados en el laboratorio de la mezcla de ambos precursores y al comercial, se realizó mediante el procedimiento estándar ASTM D5373-08 (11); mientras que, el contenido de átomos de azufre fue obtenido por el procedimiento ASTM D4239-08 (12). La cantidad de átomos de oxígeno se obtuvo por diferencia, tal y como se indica en el procedimiento estándar ASTM D3176-09 (13).

Ensayos de adsorción

Se preparó el sistema para la adsorción de dióxido de carbono sobre el carbón activado que se muestra en la figura 1, este sistema está constituido, por un cilindro de nitrógeno, un cilindro con una mezcla de CO_2/N_2 , válvula, medidor de flujo, lecho (16cm x 0,8mm), septum, colector de teflón,

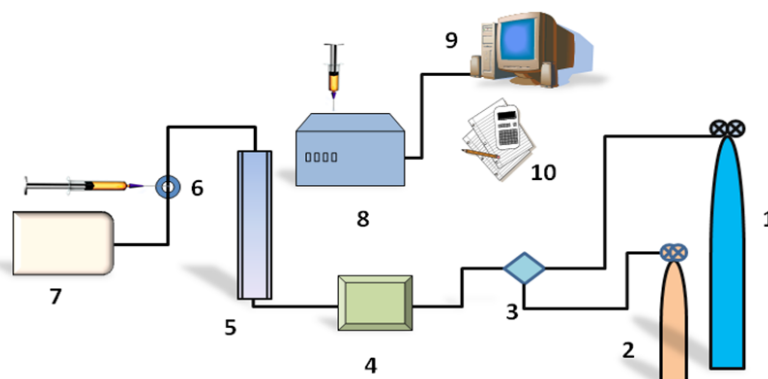


Figura 3. Diagrama del sistema para la adsorción de dióxido de carbono sobre carbón activado. (1) Cilindro de nitrógeno, (2) Cilindro de la Mezcla, (3) Válvula, (4) Medidor de flujo, (5) Lecho (16cm×0,8mm), (6) Septum, (7) Colector de teflón, (8) Cromatógrafo de gas, (9) Computador, (10) Reporte.

cromatógrafo de gas, computador y una columna de lecho fijo. Para los ensayos de adsorción se emplearon parámetro de operación contante como longitud del lecho, concentración y caudal para así evaluar y comparar cuál de todos los carbones lograba mayor remoción del adsorbato. El cromatógrafo de Gas (GC) con el detector de conductividad térmica (TCD) se utilizó para la separación y cuantificación. En este sentido el gas portador empleado fue Helio con un flujo de 30 mL/min proveniente de cilindros provistos de válvulas reductoras y filtros. La muestra de 200 μ L que se tomaron de la bolsa colector de teflón, se introducen en el inyector cuya temperatura es de 120°C por medio de una jeringa para gases a través del septum. El cromatógrafo de gases está provisto de una columna empacada de acero inoxidable ALLTECH Hayesep D 100/120, 20'× 1/8" (de 3,18mm de diámetro externo). La temperatura del horno fue de 35°C, el detector de conductividad térmica (TCD) 120°C y la temperatura del filamento es de 140°C (1).

Resultados y discusión

Técnica del número de yodo a los diferentes carbones activados

La determinación del número de yodo se realizó con la finalidad de establecer la

capacidad de adsorción de los carbones preparados, generalmente estos valores pueden relacionarse de manera directa con el área superficial específica (14). Al comparar los resultados entre sí que se muestran en la tabla 1, se observó que los carbones obtenidos CAB-50:50, CAB-50:50-6, CAB-75:25 y CAB-25:75, presentaron valores por encima del resto de los carbones, siendo el CAB-75:25 el carbón que se adjudica el número de yodo mayor ($867,19 \pm 5,58$), esto demuestra, que la mezcla de los precursores algarrobo y bagazo genera un carbón activado con un buen número de yodo, por lo tanto se convierte en una excelente opción para obtener un carbón activado, ya que al estimar su área superficial supera hasta el CAC, también se puede inferir que los números de yodo de los carbones por el tipo de precursor utilizado que por el tiempo de impregnación empleado.

Los resultados evidencian que el CAB en términos generales posee mayor número de yodo que el carbón activado de algarrobo (CAA) a las mismas condiciones de preparación. Cabe destacar que estos valores son similares e incluso en algunos casos superiores a los obtenidos por Sarmiento y col. (14), que obtuvieron números de yodo entre 350 mg/g y 450 mg/g en carbones activados con similares condiciones.

Tabla 1
Valores promedios obtenidos de la técnica del número de yodo a los diferentes carbones activados preparados en el laboratorio

Carbones	Número de yodo (mg/g) Prom ± DS
CAA-1	410,75 ± 5,59
CAA-2	487,54 ± 1,39
CAA-3	712,1 ± 4,19
CAB-1	734,67 ± 5,59
CAB-2	751,43 ± 5,58
CAB-3	792,8 ± 3,77
CAB-50:50	844,97 ± 4,19
CAB-50:50-6	822,63 ± 6,98
CAB-75:25	867,19 ± 5,58
CAB-25:75	821,57 ± 7,03
CAC	655,85 ± 8,45

También se observó, que las proporciones en las que se encuentran los precursores utilizados, afectan las propiedades finales del carbón activado, ya que al modificar las condiciones de preparación como temperatura de activación tiempo de impregnación, relación precursor-ácido y por supuesto el tipo de precursor se afectará las propiedades físicas y químicas del producto final (15).

Es importante mencionar que estudios recientes como los de Poleo, 2010 realizaron la medición del área superficial específica del CAA con el mismo agente activante pero con un mayor tiempo de impregnación de 10 a 12 h obteniendo excelentes áreas alrededor de 1262 mg/g demostrando que el algarrobo es un excelente precursor para obtener carbones activados .

Caracterización fisicoquímica

El análisis de las características fisicoquímicas tanto de los carbones activados como del precursor original utilizado, se muestran en la tabla 2, donde se observa que el contenido más bajo de cenizas corresponde a la cáscara de algarrobo crudo y al bagazo de caña, lo que justifica su uso para la preparación de carbones activados (6). Mientras que, los carbones activados preparados en las diferentes proporciones presentan los mayores porcentajes de cenizas, se infiere que esto se debe al proceso de activación al que han sido sometidos, en donde ocurre un

Tabla 2
Valores promedios de las características fisicoquímicas de los precursores, los carbones activados preparados en el laboratorio y el CAC

Adsorbente	Densidad aparente (g.mL ⁻¹)	Contenido de cenizas (%)	Contenido de Humedad (%)
	Prom ± Ds	Prom ± Ds	Prom ± Ds
AC	0,61 ± 0,05	3,36 ± 0,01	9,10 ± 0,00
BC	0,16 ± 0,02	3,9 ± 0,00	9,40 ± 0,04
CAB-50:50	0,22 ± 0,00	10,5 ± 0,70	4,60 ± 0,27
CAB-75:25	0,32 ± 0,00	8,75 ± 1,06	5,20 ± 0,14
CAB-25:75	0,23 ± 0,00	11,65 ± 0,21	4,95 ± 0,71
CAC	0,39 ± 0,00	8,12 ± 0,11	4,28 ± 0,01

incremento en la cantidad de compuestos inorgánicos, formados por la adición del agente activante (H₃PO₄) (16, 18). Cabe destacar que al comparar los carbones preparados en el laboratorio se observa que presentan contenidos de cenizas muy similares al CAC.

El análisis de la densidad aparente, es de suma importancia ya que permite estimar algunas características de los carbones activados como la resistencia mecánica (cantidad de masa por unidad de volumen). En este sentido, en la tabla 2 se observa que los valores obtenidos, tanto para el CAC y el CAB-75:25 son los que presentan mejores valores de densidad aparente, era de esperarse que el CAB-75:25 presentó una de las mayores densidad aparente debido a que la proporción de algarrobo fue mayor cantidad de algarrobo. Por consiguiente, se puede inferir que ambas propiedades se favorecen a mayor densidad aparente. Al comparar los resultados con respecto a los valores conseguidos en la literatura que oscilan en 0,3 g/mL (17, 7), se observa que están muy cercanos. Esta propiedad es una ventaja en el proceso de adsorción; ya que, permite la separación de pequeños volúmenes de adsorbentes (17).

Así mismo, con respecto al contenido de humedad, se observó que todos los carbones preparados en el laboratorio mostraron un valor de humedad más bajo que los precursores de donde provienen; debido al proceso de activación a la cual fue expuesto, en donde las moléculas generalmente de agua son evaporadas, sin embargo, fue el CAC el que presentó el valor de humedad más bajo, por lo tanto se deduce que algunos sitios de la superficie en los CAB-50:50, CAB-75:25 y CAB-25:75 se encuentran ocupados con moléculas de agua. Cabe destacar, que el rendimiento de los carbones obtenidos resultó ser en promedio de 39,7% similar a los valores obtenidos por Poleo (16).

Composición elemental

El análisis elemental confirma, que ambos precursores son adecuados para la ob-

tención de carbón activado, ya que presentan un contenido aproximado de carbono superior al 40% a partir del cual se puede inferir que el valor del contenido de materia volátil, también es relativamente alto, esto es favorable para obtener un carbón activado con una estructura porosa bien desarrollada que garantice un alto valor de área superficial.

Al observar los valores de los precursores crudos y compararlo con los carbones activados, se evidenció el incremento del porcentaje de carbono que ocurre durante el proceso de activación, pasando de un contenido de carbono de 48% y 44% a valores por encima del 63% en los carbones, mientras que el contenido de azufre e hidrógeno disminuyen, lo que indica que el proceso favorece la reducción de estos últimos elementos, y la prevalencia del carbono en la composición del mismo, generando en el material una estructura con sitios menos complejos y ofreciendo mejores condiciones de difusión a los adsorbatos que migran hacia la estructura del carbón activado.

Otro factor importante es el contenido de oxígeno; en la tabla 3 se muestra cómo los precursores presentan un porcentaje similar al contenido de carbono, sin embargo, por el proceso de carbonización su valor disminuye considerablemente, manteniéndose en el carbón activado una cantidad de oxígeno que será el responsable de la variedad de los grupos superficiales que se formaran en la superficie. Por su parte, el CAC aunque proviene de otra materia prima y fue obtenido por un proceso de activación diferente; posee valores de contenido de carbono y oxígeno, muy similares a los obtenidos por los carbones estudiados.

Curva de ruptura

En la figura 2, se observa la forma característica de las curvas de ruptura, por consiguiente la concentración inicial del adsorbato (Co), el caudal y las condiciones de operación utilizados fueron adecuadas, ya que permitió el desarrollo exitoso de la cur-

Tabla 3
Composición elemental de las muestras del CAB-50:50, CAB-75:25, CAB-25:75, CAC, BC y AC

Muestra	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Hidrógeno (%)	Oxígeno (%)	Azufre (%)
AC	48,00	0,49	6,23	43,56	0,05
BC	44,01	0,47	6,04	45,83	0,09
CAB-50:50	69,27	1,33	3,86	9,77	0,02
CAB-75:25	69,83	1,41	3,58	7,89	0,05
CAB-25:75	63,26	1,35	4,12	10,19	0,02
CAC	78,61	0,90	2,33	8,01	-

CAB-75:25 carbón activado de algarrobo y bagazo de caña en una proporción 75:25 (el 75% de la mezcla es de algarrobo y el resto es de bagazo de caña). CAC: Carbón activado comercial. AC: Algarrobo crudo. BC: Bagazo crudo.

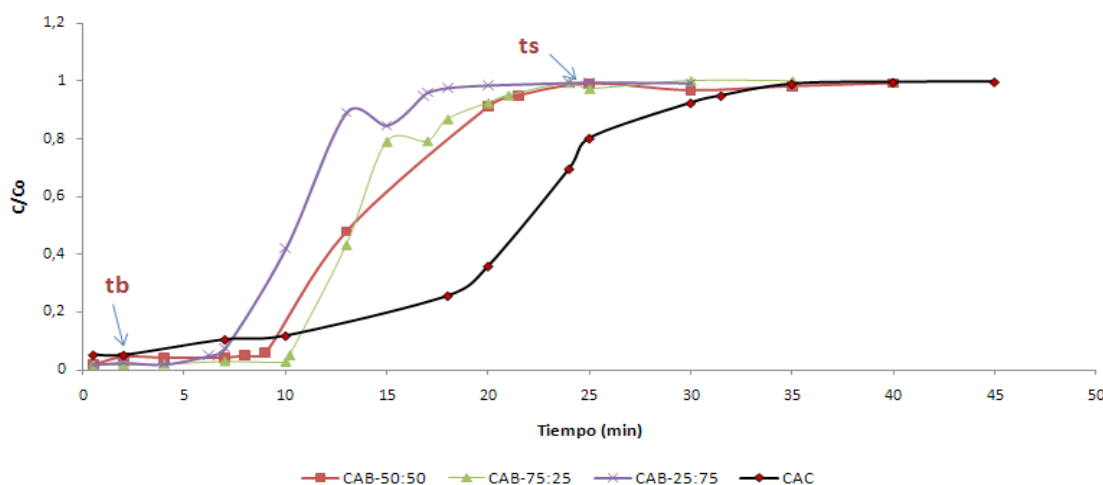


Figura 2. Curvas de rupturas para la adsorción de CO_2 , C_0 17,49%P/P, t_b ($C=0,05.C_0$) y t_s ($C=0,95.C_0$).

va de ruptura, definiéndose los tiempos de ruptura y de saturación, establecidos cuando la $C = C_0$ (0,05) y $C = C_0$ (0,95) para cada uno de los carbones estudiados (18). Las curvas de ruptura de los carbones CAB-50:50, CAB-75:25 y CAB-25:75 fueron muy similares entre ellos. Sin duda los carbones provenientes de la cáscara de algarrobo y el bagazo de caña poseen muchos parámetros de preparación en común, lo que implica que muchas de sus propiedades son similares incluyendo el área superficial que está relacionada con la capacidad de adsorción en este caso de CO_2 por lo tanto, es bastante lógico

que tengan un comportamiento parecido entre ellos. En todos los ensayos realizados se observa una curva sigmoidal características de dicho proceso.

Los valores de los tiempos de ruptura, muestran que $\text{CAB-75:25} > \text{CAB-50:50} > \text{CAB-25:75} > \text{CAC}$, lo que implica que el lecho que tardó más en saturarse fue el CAB-75:25 al inicio este carbón adsorbió la mayor cantidad de adsorbato. Se pudo observar también que los valores obtenidos del tiempo de ruptura oscilaron entre 2 y 10,2 min para los diferentes carbones utilizados, es decir,

cada carbón desarrolla una curva específica con t_b y t_s diferentes, ya que la capacidad de adsorción de los carbones depende mucho de sus propiedades fisicoquímicas como el área superficial, afinidad con el adsorbato, distribución del tamaño de poro y todas esas características que son particulares en cada carbón.

Modelo BDST

En la tabla 4 se presentan los diferentes valores de los parámetros del modelo BDST, obtenidos a partir de los intercepto y pendiente de las gráficas del ajuste lineal. Para el modelo del tiempo de servicio del lecho pro-

fundo (BDST), los valores de R^2 estuvieron muy cerca a la unidad, expresando lo bien que se ajustaron los datos experimentales a este modelo. Sin embargo, los valores de $\% \varepsilon$ fueron aumentando, resultando el CAB-50:50 con el mayor porcentaje de error relativo. Esto indica que a pesar de las correlaciones obtenidas la curva de ruptura calculada con el modelo difiere en cierta forma con los datos obtenidos experimentalmente.

Por otra parte la gráfica lineal del modelo de BDST tiempo versus $\ln [(C_0/C)-1]$ que se muestra en la figura 3, evidencia que la data experimental obtenida de los diferentes carbones presentan un comportamiento similar entre ellas, es decir, sus datos pre-

Tabla 4

Parámetros calculados para el modelo de tiempo de servicio de lecho profundo (BDST) y desviaciones del modelo para la adsorción de CO₂ sobre el CAC, CAB-50:50, CAB-75:25 y CAB-25:75

Muestra	Modelo matemático		BDST		R ²	ε (%)
	K _a (L/mg·min)	N ₀ (mg/L)	$\tau_{b(cal)}$ (min)	$\tau_{b(obs)}$ (min)		
CAB-50:50	2,56E-06	304084,6	7,96	8	0,98	8,96
CAB-75:25	3,12E-06	304524,1	9,16	10,2	0,91	1,97
CAB-25:75	3,38E-06	231401,5	6,08	6,2	0,95	7,63
CAC	1,21E-06	400479,3	5,39	2	0,94	7,24

Constante: K_a. Capacidad de adsorción: N₀. Tiempo de ruptura calculado: $\tau_{b(cal)}$.
Tiempo de ruptura observado: $\tau_{b(obs)}$ Correlación lineal: R₂. % Error relativo: ε .

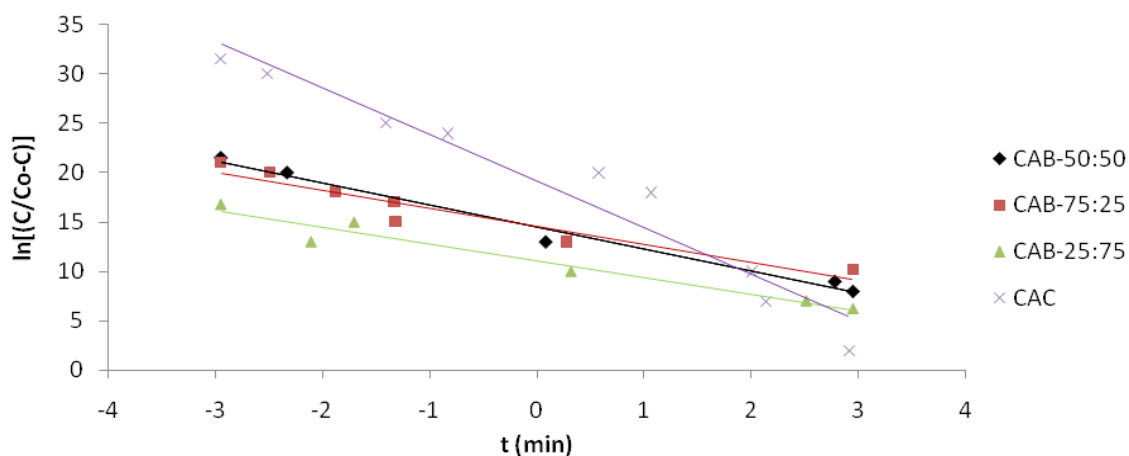


Figura 3. Gráfica lineal del modelo de BDST tiempo Vs $\ln [(C_0/C)-1]$ utilizando una misma C_0 pero variando en cada ensayo el adsorbente.

sentan poca dispersión entre ellos, sin embargo se destaca específicamente los datos del CAB-50:50 que coinciden en su mayoría por los obtenidos con el CAB-75:25, aunque algunas con unas pendientes más inclinadas que otras. Es importante resaltar que los datos se ajustaron a una correlación lineal y los tiempos de ruptura obtenidos experimentalmente y los calculados, son muy similares, finalmente se observó que al disminuir la constante (K_a), se aumenta la capacidad de adsorción (N_0).

Conclusiones

La mezcla del bagazo de caña y la cáscara de algarrobo resulta una buena combinación, razón por la cuál es una excelente opción para obtener carbones activados, debido a su contenido de carbono, oxígeno y ceniza. El rendimiento de los carbones obtenidos resulto ser en promedio de 39,7%.

La técnica del número de yodo fue una herramienta valiosa para estimar el área superficial de los carbones activados, resultando el CAB-75:25 con el valor más elevado con un número de yodo de 867,18 mg/g.

Se estableció una comparación utilizando un carbón activado comercial (CAC) como lecho fijo de columna; en el que se obtuvieron un tiempo de ruptura de 2min, volumen de efluente tratado de 567,5 mL tiempo de saturación de 31,5 min, una capacidad máxima de la columna de 54,36 mg y una longitud de la zona de transferencia de masa (LZTM) de 10,82 valores bastante altos comparados con los obtenidos por el resto de los carbones preparados.

El modelo de BDST que describe la adsorción en sistemas continuos, se ajustó muy bien a todos los carbones pero fue el CAB-50:50 el que obtuvo el mayor coeficiente de determinación $R^2 = 0,98$.

Referencias bibliográficas

1. LOZANO, D. Síntesis de carbón activado preparado a partir de Lemna sp para la adsorción de CO_2 . Trabajo Especial de Grado. Univ. Zulia. Maracaibo, Venezuela, 1-65. 2008.
2. ROOP C., MEENAKCHI G. **Activated carbon adsorption**. Editorial Taylor y Francis Group. 67-69. 2005.
3. ZHANG L., KEE H. **J Chromatogr A** 931: 95-105.2001.
4. BLANCO J., BONELLI P., CERRELLA E., CUKIERMAN A. **J. Ind Eng Chem Res** 39: 4166-4172. 2000.
5. CONTRERAS J., FUENMAYOR H., COLINA M., DÍAZ A., FERNÁNDEZ N., PÉREZ M., COLINA G. **Ciencia** Univ Zulia 16(1): 111-121. 2008.
6. ACEVEDO S., COLINA M., DÍAZ A., FERNÁNDEZ N., BEHLING E., MARÍN J., COLINA G. **Rev Téc Ing Univ Zulia** 30(3):244-252. 2007.
7. BASSO M., CERRELLA E.; CUKIERMAN A. **J Ind Eng Chem Res** 41: 180-189. 2002.
8. Norma American Society for Testing and Materials **ASTM D2854-9**. Standard test Method for apparent density of activated carbon. 2000.
9. Norma American Society for Testing and Materials **ASTM D2866-94**. Standard Test Method for Total Ash Content of Activated carbon. 1999.
10. Norma American Society for Testing and Materials **ASTM D2867-99**. Standard test Method for moisture of activated carbon.
11. Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal. **ASTM D5373-08**. USA. 2008.
12. Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods. **ASTM D4239-08**. USA. 2008.
13. Standard Test Methods for Oxigenin the Analysis Sample of Coal and Coke Using

- High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods. **ASTM D3176-09**. USA. 2008.
14. SARMIENTO C., SÁNCHEZ J., GARCÍA C. **Ciencia Univ Zulia** 12(1):52-63. 2004.
15. YANPING GUOA. **Bioresour Tech** 98:1513-1521. 2007.
16. POLEO N., OLIVEROS S., COLINA M., RINCÓN N., MESA J., COLINA G. **Rev Téc Ing Univ Zulia** 33(1): 29-38. 2010.
17. AHMEDNA M., CLARKE S., JOHNS M., MARSHALL W., RAO R. **J Sci Food Agric** 75:117-124. 1997.
18. RIVAS G. Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna. Tesis doctoral. Univ. de Granada. 197-209. 2006.