

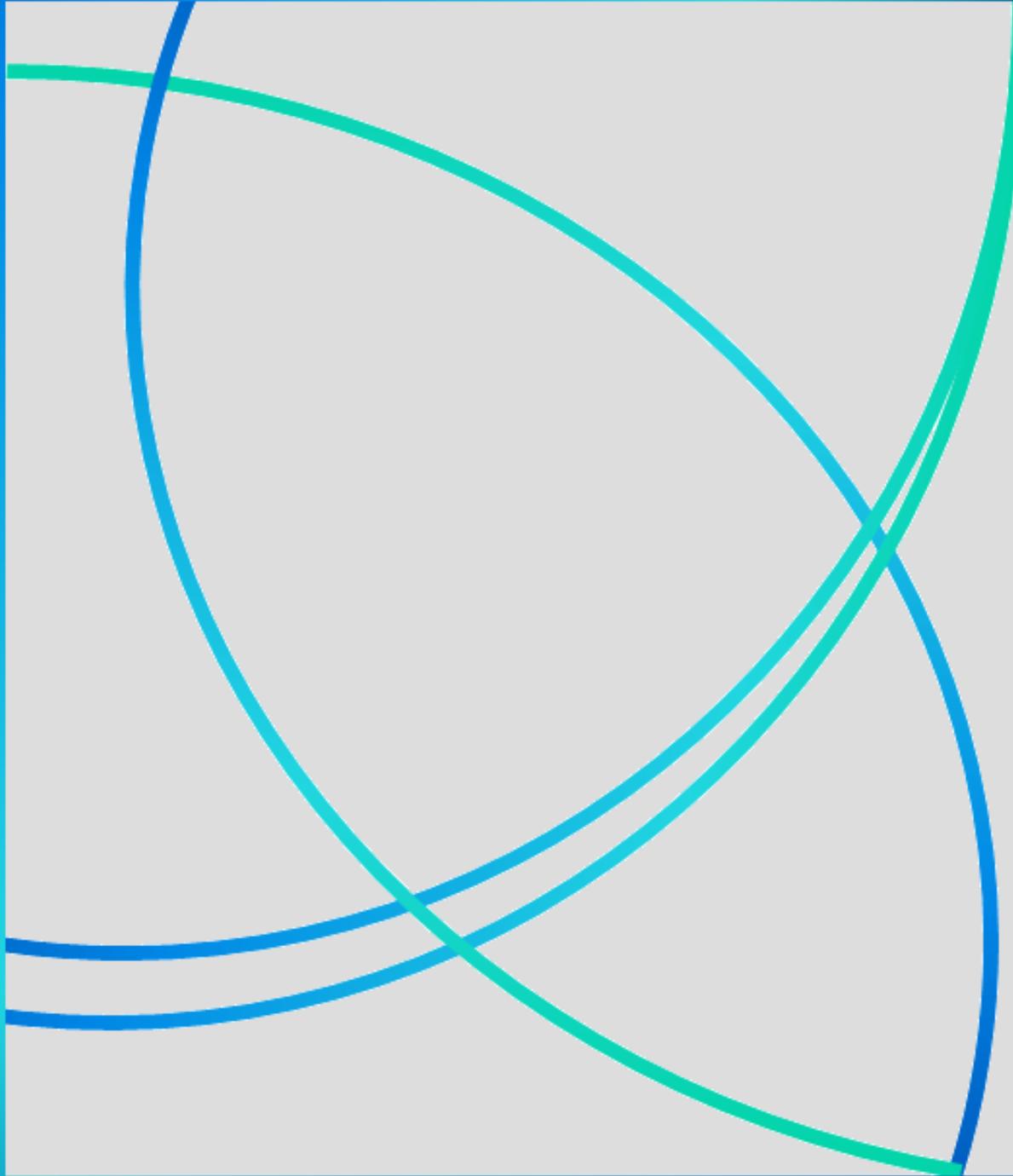
Depósito Legal ppi 201502ZU4668



Vol. 24, N° 4

Octubre - Diciembre 2016

CIENTIFICA



Esta publicación científica en
formato digital es continuidad
de la revista impresa
Depósito Legal: pp 199302ZU47
ISSN: 1315-2076

**An International Refereed Scientific Journal
of the Facultad Experimental de Ciencias
at the Universidad del Zulia**

CIENCIA 24(3), 197-206, 2016
Maracaibo, Venezuela

Adsorción de calcio utilizando carbón activado obtenido de *Cassia fistula* y cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*)

Sedolfo Carrasquero*, Verónica Gutiérrez, Lily Ocando, Yenifer Ramírez, Julio Cesar Marín y Gilberto Colina

Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA). Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela

Recibido: 12-07-16 Aceptado: 30-09-16

Resumen

El objetivo de la investigación fue comparar la adsorción de calcio utilizando carbón activado preparado a partir de la *Cassia fistula* y de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) con un carbón activado comercial. Los carbones activados se obtuvieron mediante una activación química de los precursores naturales con H₃PO₄ al 40% y luego un proceso de incineración a una temperatura de 500 °C. Se determinó la capacidad adsorptiva de los carbones activados mediante ensayos de adsorción por carga en fase líquida utilizando un tiempo de agitación de 40 min. Los resultados obtenidos indican que la *Cassia fistula* y las cáscaras de naranja son excelentes materiales para la elaboración de carbón activado que puede ser utilizado en la adsorción de calcio, debido a que se obtuvieron eficiencias en aguas muy duras (134 mg Ca/L) de 84,0% para el carbón de cáscaras de naranja y 81,7% para el carbón activado de *Cassia fistula*, valores mayores a las obtenidos con el carbón activado comercial, que registró una remoción de 78,5% para la misma concentración inicial. Por lo que estos materiales adsorbentes pueden de ser empleados en tratamientos para la reducción de dureza en aguas para consumo humano o uso industrial.

Palabras clave: *Cassia fistula*, *Citrus sinensis*, carbón activado, isoterma de adsorción, remoción de calcio.

Calcium adsorption using activated carbon obtained from *Cassia fistula* and orange peels (*Citrus sinensis*)

Abstract

The objective of the research was to compare the adsorption of calcium using activated carbon prepared from the *Cassia fistula* and orange peel (*Citrus sinensis*) with a commercial activated carbon. Activated carbons were obtained by a chemical activation process of the natural precursors using phosphoric acid (40%) and then an incineration process at a temperature of 500 °C. The adsorptive capacity of the activated carbon was determined by adsorption batch tests in liquid phase using a stirring time of 40 min. The results indicate that *Cassia fistula* and orange peels are excellent materials for producing activated carbon for adsorption of calcium, because the higher percentages obtained of

*Autor para la correspondencia: scarrasquero@fing.luz.edu.ve

calcium removal., For an initial concentration of 134 mg Ca/L, 84.0% of calcium removal was obtained when the *Cassia fistula* activated carbon was used, and 81.7% of removal when the peels orange carbon was used. These values were higher than obtained for commercial carbon. So these adsorbent materials can be used in treatment for the reduction of hardness in water for human consumption or industrial use.

Key words: *Cassia fistula*, *Citrus sinensis*, activated carbon, adsorption isotherms, calcium removal.,

Introducción

Las aguas naturales contienen diversas cantidades de sales de composición variada y tienen la particularidad que al utilizarlas para el lavado con jabones de elevado peso molecular se forman precipitados, esto se debe a sales solubles de calcio y magnesio (1). Estos iones son dos de los componentes químicos más importantes presentes en las aguas de consumo público, y originan la dureza del agua (2). La presencia de elevadas concentraciones es perjudicial para la salud humana causando enfermedades como nefritis (3).

De igual manera, el agua con niveles de dureza superior a los 200 mg CaCO₃/L puede causar la aparición de incrustaciones en los sistemas de distribución, dependiendo de la interacción de factores como el pH, alcalinidad y temperatura. Estas incrustaciones afectan las redes de distribución tanto domésticas como industriales y se producen principalmente por una descomposición térmica de los bicarbonatos de calcio y magnesio (4). Estos depósitos de dureza disminuyen la potencia de las calderas en un 10 y 20% (5), y la eficiencia térmica en los intercambiadores de calor en un 10 y 20% (6)

Dentro del contexto técnico-productivo del país, se requiere el desarrollo de proyectos encaminados a investigar alternativas tecnológicas y ecológicas para el tratamiento de aguas con elevada dureza. En la actualidad surgen métodos innovadores, entre los cuales se

destaca el tratamiento con carbón activado obtenido a partir de precursores naturales, por ser un proceso altamente selectivo, de elevada eficiencia y bajo costo (7). Este tipo de tecnologías promueve el uso de materiales naturales renovables que posean características adecuadas como materiales precursores para la elaboración de carbón activado (8).

Investigaciones recientes sobre la adsorción de iones en el tratamiento de aguas revelan la capacidad de adsorción y el potencial como precursor de carbones activados de diferentes biomásas residuales como el bagazo de la caña de azúcar (9), fibras de coco (10), cáscara de plátano (11), cáscara de limón (*Citrus limonum*), cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) (12), hoja de maíz, cáscaras de maní y desechos de tallo de uva (13).

El objetivo de esta investigación fue comparar la remoción de calcio utilizando carbón preparado a partir de la *Cassia fistula* y de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) con un carbón activado comercial durante el tratamiento fisicoquímico de efluentes sintéticos.

Materiales y métodos

Preparación del carbón, activación y carbonización de los precursores

Para la preparación, activación y carbonización de las cáscaras de naranjas (*Citrus sinensis*) y del fruto de la legumbre *Cassia fistula* se siguió el procedimiento sugerido por Acevedo y col. (7) y Basso y col. (14).

Las cáscaras de naranja utilizadas para esta investigación provenían de una venta de jugos ubicado en la parroquia de Juana de Ávila en la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia. Para la obtención del carbón activado se procedió a limpiar las conchas con suficiente agua desionizada eliminando las impurezas. Posteriormente, las conchas de naranja se secaron a una temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ y luego se cortaron en trozos de $0,5 \times 0,5$ cm.

Como agente activante se utilizó ácido fosfórico al 40% v/v, las conchas de naranja limpiadas y cortadas se dejaron en contacto con el ácido fosfórico durante 12 h, utilizando una relación precursor: ácido de 1:3 p:v (1 g de cáscara por 3 mL de ácido).

La pasta obtenida se incineró en una mufla a 500°C , por espacio de 1 h, bajo una campana de extracción. El carbón obtenido fue lavado primero con agua caliente ($70-80^{\circ}\text{C}$) y después con una solución de hidróxido de sodio (0,02 N) para neutralizarlo hasta alcanzar un pH entre 5 y 7 unidades. Luego se secó en una estufa calibrada a una temperatura de 110°C por un tiempo de 12 h. Los carbones activados obtenidos fueron tamizados utilizando los tamices No. 70 y 80 ASTM ($0,180 \text{ mm} < \Phi < 0,212 \text{ mm}$).

Para el precursor proveniente de la *Cassia fistula* se utilizó el fruto de la legumbre de 30 a 60 cm de largo de árboles ubicados en la zona norte de la ciudad de Maracaibo, Venezuela. El fruto fue secado, molido y tamizado, seleccionando las partículas retenidas entre los tamices No. 8 y 14 ASTM ($297 \mu\text{m} < \Phi < 420 \mu\text{m}$). Luego se realizó el procedimiento de activación y carbonización descrito para las cáscaras de naranjas.

Los carbones activados recibieron la siguiente nomenclatura: carbón activado de cáscaras de naranjas (CAN), carbón activado de *Cassia fistula* (CAF) y carbón comercial (Norit-A Brian Chemical) (CAC).

Caracterización de los carbones activados

Los carbones activados fueron caracterizados antes de realizar las pruebas de adsorción por carga mediante los parámetros densidad aparente, contenido total de cenizas, humedad e índice de yodo siguiendo los procedimientos descritos en las normas ASTM D2854-96 (15), ASTM D2866-94 (16), ASTM D2867-99 (17), ATSM D4607-94 (18), respectivamente.

Determinación del tiempo de saturación de los carbones activados por ensayos por carga

Para la determinación del tiempo de saturación (t_{sat}) de los carbones activados se realizó el ensayo de la curva de decaimiento. Se utilizó un agua sintética (136 mg Ca/L y pH de 5,44 unidades) y 0,1 g de carbón activado preparado en un agitador eléctrico tipo batch (Burrell Scientific) a 50 rpm a una temperatura de 25°C . Se establecieron 60 min como el tiempo total del ensayo. Finalizada la prueba la solución fue filtrada al vacío utilizando papel de filtro Whatman N° 12,5 cm, para separar el efluente del carbón activado y luego determinar la concentración de calcio por el método de la titulación con el EDTA (19). Este procedimiento se efectuó por triplicado tanto para el CAN como el CAF.

Proceso de adsorción por carga e Isotermas de adsorción

Los estudios de adsorción en fase líquida se ejecutaron a una temperatura de 25°C con agitación constante de 50 rpm, utilizando un agitador eléctrico tipo batch (Burrell Scientific) en un tiempo de contacto igual al tiempo de saturación obtenido en el apartado anterior. Se prepararon soluciones de calcio de 136, 108, 80, 52, 41, 32, 28 y 26 mg Ca/L.

La cantidad de soluto adsorbido sobre los carbones activados preparados

y el comercial fueron calculados de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$q = \frac{C_0 - C_e}{m} \times v \quad (1)$$

Donde q es la cantidad de adsorbato adsorbido (mg/g), C_0 es la concentración inicial de la solución (mg/L), C_e es la concentración en el equilibrio de la fase líquida (mg/L), m es el peso del adsorbente (g) y V es el volumen de la solución.

Los resultados obtenidos fueron ajustados a los modelos de Langmuir y Freundlich. Para ambos ajustes, tanto a la ecuación del modelo de Freundlich como el

de Langmuir, se calculó la suma de los cuadrados de los errores relativos según la ecuación de Myers, por medio de la Ecuación (2).

$$E_r = \sum \left(\frac{q_{ajustado} - q_{experimental}}{q_{experimental}} \right)^2 \quad (2)$$

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica parcial de los carbones activados

Las características fisicoquímicas de los carbones activados preparados a partir de los precursores naturales y del carbón activado comercial se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de los carbones activados

Adsorbente	Densidad	Cenizas	Humedad	Índice de yodo
	Aparente (g/mL)	(%)	(%)	(mg/g)
	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	
CAN	0,94 ^c \pm 0,007	33,10 ^a \pm 0,26	25,20 ^a \pm 0,40	542,94 ^a \pm 8,40
CAF	1,40 ^a \pm 0,006	26,73 ^b \pm 0,47	20,33 ^a \pm 0,40	551,59 ^a \pm 10,01
CAC	1,21 ^b \pm 0,074	26,10 ^b \pm 0,96	10,50 ^b \pm 0,25	509,42 ^b \pm 7,06

Nota: Media con letras distintas en la misma columna indica que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$). CAN: carbón de naranja. CAF: carbón *Cassia fistula*. CAC: carbón comercial; n:3; n:numero de repeticiones; DE: desviación estándar

El carbón activado proveniente de las cáscaras de naranja presentó un porcentaje promedio de cenizas de 33,10%, valor mayor al reportado en cáscaras de naranja por Pinzón y Cardona (20), quienes registraron un valor promedio de 4,90%. El carbonizado de las cáscaras del cítrico ocasionó un aumento en el contenido de cenizas debido a que durante este proceso se produce la pérdida de los compuestos volátiles presentes en la cáscara, pero la materia inorgánica se mantiene.

El contenido de cenizas para el carbón activado de la *Cassia fistula* fue

de 26,73%, y presentó diferencia significativa ($p \leq 0,05$) con el CAN, estas diferencias pueden atribuirse al contenido inicial de las cenizas de ambos precursores naturales.

La resistencia mecánica de los carbones activados se puede determinar por la densidad aparente. En la Tabla 1 se observa que los carbones preparados presentaron una densidad aparente de 0,94 y 1,40 g/mL, para el CAN y el CAF, respectivamente; por lo que dichos carbones pueden utilizarse para procesos de adsorción a flujo continuo y discontinuo por su alta resistencia mecánica, según el criterio de Ahmedna

y col. (21) y Basso y col. (14), quienes establecen como valor de referencia una densidad mínima de de 0,3 g/mL.

Del análisis estadístico realizado, se observó que para la densidad aparente los tres carbones comparados presentaron diferencias significativas, siendo el carbón activado CAF, el que registró el mayor valor de densidad aparente, debido a que la materia prima para su elaboración es de mayor dureza o consistencia. Esto concuerda con lo reportado por Aguilar y col. (22), quienes durante la síntesis de carbones activados a partir de diversos precursores naturales encontraron los mayores niveles de densidad aparente y resistencia mecánica para los materiales vegetales con mayor dureza.

La adsorción de yodo se realizó con el propósito de establecer la capacidad de los carbones activados preparados de adsorber moléculas no polares de diámetro pequeño. Los mayores valores del índice de yodo se alcanzaron en los carbones preparados, con 551,359 mg I₂ adsorbido/g carbón para el CAF y 542,94 mg I₂ adsorbido/g carbón para el CAN. La menor adsorción de yodo fue para el CAC con 509,42 mg I₂ adsorbido/g carbón. Un mayor índice de yodo implica una mayor área superficial y por ende una mayor capacidad adsorptiva de calcio durante los ensayos por carga. Todos los carbones activados obtenidos en este estudio presentan valores de índice de yodo mayores al valor mínimo considerado para su comercialización que es de 500 mg I₂/g de carbón (22).

Curva de decaimiento de la concentración de calcio

En la Figura 1 se observa la disminución de la concentración de calcio con respecto al tiempo. Se encontró que a las condiciones a las cuales se realizó la prueba (T=25°C, C₀: 136 mg Ca/L y 0,1 g

de carbón activado), el equilibrio de adsorción sólido – líquido por parte de los carbones activados preparados ocurrió alrededor de los 40 minutos aproximadamente, tiempo seleccionado para la realización de los ensayos por carga. Se obtuvo que a medida que los carbones se van saturando la velocidad de adsorción disminuye, alcanzándose el equilibrio, es decir, una concentración residual de calcio constante, 20 mg/L para el CAN y 36 mg/L para el CAF. Durante los primeros 10 min del ensayo de decaimiento se logró disminuir a valores menores que la mitad de la concentración inicial, 58 mg/L para el CAN y 62 mg/L para el CAF, por lo que existió una alta afinidad del adsorbato hacia los sitios de adsorción presentes en la superficie del carbón activado.

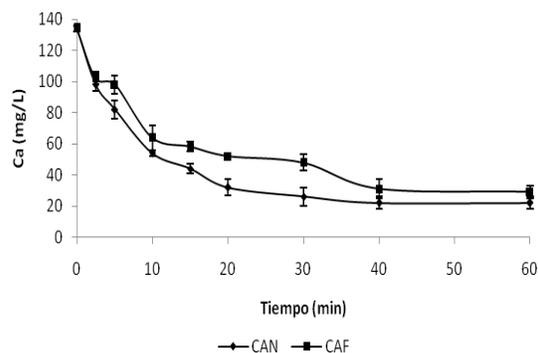


Figura 1. Curva de decaimiento de concentración de calcio para los carbones preparados CAN, CAF. Condiciones iniciales: 0,1 g de carbón activado (CAN y CAF), 100 mL de solución a C₀= 136 mg/L y T= 25°C.

Ensayos de adsorción por carga

Para todos los carbones evaluados la capacidad total de adsorción (q) tuvo una marcada tendencia a incrementarse con el aumento de C₀ (Tabla 2), lo cual se atribuye a la tendencia de conseguir el equilibrio interfásico (sólido-líquido) a medida que el carbón se expone a mayor cantidad de adsorbato (23).

Tabla 2. Comparación de las remociones de calcio obtenidas después del proceso de adsorción del CAN, CAF y CAC

Ca ₀ (mg/L)	CAN			CAF			CAC		
	Ca _e (mg/L) Media ± DE	% Remoción Media ± DE	q (mg Ca/g) Media ± DE	Ca _e (mg/L) Media ± DE	% Remoción Media ± DE	q (mg Ca/g) Media ± DE	Ca _e (mg/L) Media ± DE	% Remoción Media ± DE	q (mg Ca/g) Media ± DE
136	21,7 ± 2,2	84,0 ^a ± 1,7	114,3 ^a ± 2,3	26,4 ± 2,4	80,6 ^{a,b} ± 1,9	109,6 ^a ± 2,5	29,2 ± 3,9	78,5 ^b ± 2,8	106,8 ^b ± 3,9
108	19,2 ± 4,3	82,2 ^a ± 4,0	88,8 ^c ± 4,3	19,8 ± 6,0	81,7 ^{a,b} ± 6,1	88,2 ^c ± 6,6	23,5 ± 4,2	78,3 ^b ± 4,1	84,5 ^d ± 4,9
80	18,0 ± 1,6	77,5 ^a ± 2,0	62,0 ^e ± 1,6	16,5 ± 5,3	79,4 ^{a,b} ± 6,6	63,5 ^e ± 5,2	21,7 ± 2,9	72,8 ^b ± 3,5	58,3 ^f ± 2,8
52	14,4 ± 1,8	72,3 ^a ± 3,5	37,6 ^g ± 1,8	11,5 ± 5,1	77,9 ^{a,b} ± 9,6	40,5 ^g ± 4,2	17,3 ± 0,4	66,7 ^b ± 0,9	34,7 ^h ± 0,5
41	14,7 ± 0,6	64,1 ^c ± 1,1	26,1 ⁱ ± 0,5	12,7 ± 5,0	68,8 ^{c,d} ± 19,7	28,1 ⁱ ± 8,0	16,9 ± 3,2	58,5 ^d ± 8,2	23,9 ^j ± 3,4
32	12,8 ± 1,4	60,5 ^c ± 4,9	19,6 ^k ± 1,6	9,7 ± 4,0	70,0 ^{c,d} ± 12,5	22,7 ^k ± 4,0	13,9 ± 1,5	57,2 ^d ± 5,1	18,5 ⁱ ± 1,7
28	12,0 ± 1,4	57,9 ^c ± 4,9	16,5 ^k ± 1,4	10,3 ± 3,8	64,0 ^{c,d} ± 14,0	18,2 ^k ± 4,0	15,2 ± 1,6	46,6 ^d ± 5,6	13,3 ⁱ ± 1,6
26	11,9 ± 1,0	54,8 ^c ± 3,8	14,4 ^k ± 1,0	9,1 ± 4,1	65,4 ^{c,d} ± 15,0	17,2 ^k ± 3,9	11,9 ± 4,9	54,8 ^d ± 18,8	14,4 ^{k,l} ± 4,9

Nota: Media con letras distintas en la misma columna indica que existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$). CAN=carbón de naranja. CAF=carbón *Cassia fistula*. CAC=carbón comercial. n=3. Prom=promedio. DE=desviación estándar. Ca₀: Concentración de calcio inicial. Ca_e: Concentración de calcio en el equilibrio

Este comportamiento también fue reportada por Quijano y López (24), quienes utilizaron carbón activado proveniente de las cáscaras de naranja para la adsorción de azul de metileno. Estos investigadores obtuvieron que la capacidad adsorptiva del azul de metileno aumentaba cuando se incrementaba la concentración inicial del adsorbato.

Cuando se utilizó carbón activado proveniente de las cáscaras de naranja se obtuvieron porcentajes de remoción de calcio que oscilaron entre 54,8 y 84,0%. Porcentajes de remoción de calcio superiores a 72% se encontraron durante el proceso de adsorción en aguas duras ($48 < DCa < 60$ mg Ca/L) y muy duras ($DCa > 60$ mg Ca/L), mientras que porcentajes de remoción inferiores a 65% fueron obtenidos en aguas moderadamente duras (25). Este mismo comportamiento se observó para los carbones activados de *Cassia fistula* y CAC.

Por lo que los carbones activados fueron más efectivos a medida que la concentración inicial de calcio fue mayor, es decir, el porcentaje de remoción disminuye a medida que disminuye la concentración inicial de calcio.

Los carbones activados preparados presentaron eficiencias de remoción que se encuentran en el rango reportados para otros adsorbentes. Sepehr y col. (26) y Altundogan y col. (27) reportaron porcentajes de remoción de calcio que oscilaron entre 79% y 62% durante la utilización como adsorbente de pinya de pino modificada y roca pumita, respectivamente, durante el tratamiento de aguas duras.

Del análisis estadístico realizado, se observó que existieron diferencias significativas en la capacidad adsorptiva de calcio para los tres carbones utilizados (CAN, CAF y CAC). Los mayores valores se registraron cuando se utilizaron los carbones preparados en el laboratorio a

partir de las cáscaras de naranja y de la *Cassia fistula*. Esto puede deberse a que estos adsorbentes presentaron el mayor índice de yodo durante la caracterización del carbón, es decir, presentaron una mayor área superficial., Se obtuvo que no se encontraron diferencias significativas entre la capacidad adsorptiva del CAN y del CAF para las diferentes concentraciones de calcio utilizadas.

Analizando el efecto de la concentración inicial de calcio, se obtuvo que las capacidades adsorptivas cuando se utilizó el mismo tipo de carbón presentaron diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de calcio, a excepción de cuando se utilizó 32, 28 y 26 mg/L. Este comportamiento se observó para los tres carbones utilizados, esto puede deberse a que la capacidad de adsorción de los carbones se incrementó con el aumento de la concentración del adsorbato en la fase líquida. Sin embargo, a bajas concentraciones soluto en la solución acuosa existió poca afinidad con el adsorbente.

En la Figura 2 se muestran las isotermas de adsorción de calcio por los

por los carbones activados preparados a partir de los precursores naturales y el carbón activado comercial., Una isoterma de adsorción es importante porque describe como los adsorbatos interactúan con los adsorbentes.

Todas las isotermas mostraron una forma del tipo S subgrupo 4 según la clasificación de Giles. Este tipo de isotermas es indicativo de que a bajas concentraciones del soluto en la solución acuosa existe poca afinidad entre el soluto y el adsorbente. Esta afinidad se incrementa en la medida que aumenta la concentración de soluto en la solución, hasta un cierto valor de concentración donde se produce una saturación de los sitios de adsorción.

Modelamiento matemático del proceso de adsorción para los carbones estudiados

Las Tabla 3 muestra los valores de la suma de los cuadrados de errores relativos según la ecuación de Myers (SSRE), los coeficientes de correlación lineal (r) y las ecuaciones lineales de los modelos de Langmuir y Freundlich, respectivamente, aplicados a cada carbón preparado.

Tabla 3. Valores de las constantes, suma de los cuadrados de los errores relativos (SSRE), según la ecuación de Myers, r y ecuación lineal obtenidos para los ajustes del modelo de Freundlich y Langmuir en la adsorción de Ca sobre carbón activado

Adsorbentes	Langmuir					Freundlich				
	b (mg/g)	K (L/mg)	Ecuación lineal	SSRE	r	K _F (L/mg)	n	Ecuación lineal	SSRE	r
CAN	-14,709	-0,044	$\frac{1}{q} = 1,542 \frac{1}{C_e} - 0,068$	3,432	0,966	$3,170 \cdot 10^{-3}$	0,292	$\text{Log } q = 3,430 \cdot \text{Log } C_e - 2,499$	0,111	0,986
CAF	-45,455	-0,032	$\frac{1}{q} = 0,688 \frac{1}{C_e} - 0,022$	1,834	0,926	0,339	0,551	$\text{Log } q = 1,816 \cdot \text{Log } C_e - 0,469$	0,298	0,956
CAC	-23,256	-0,030	$\frac{1}{q} = 1,417 \frac{1}{C_e} - 0,043$	0,778	0,902	0,018	0,386	$\text{Log } q = 2,589 \cdot \text{Log } C_e - 0,043$	0,558	0,9952

CAN=Carbón de naranja.CAC=Carbón comercial CF=Carbón de *Cassia fistula*. r: Factor de correlación. SSRE= Suma de los cuadrados de los errores relativos de Freundlich y Langmuir según la ecuación de Myers (30)

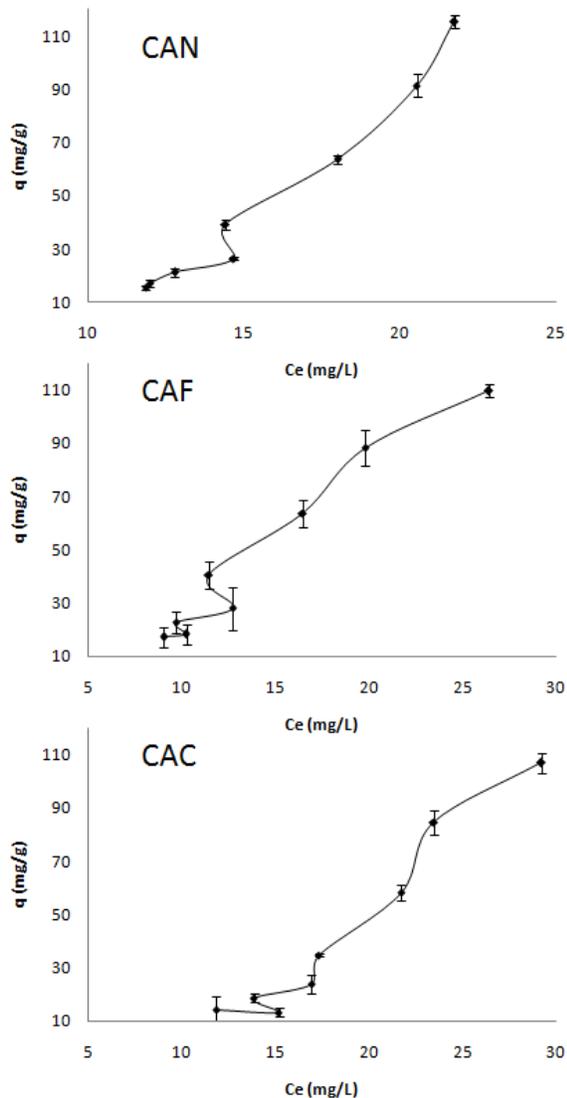


Figura 2. Isothermas de adsorción de los carbones activados CAN, CAF y CAC

El coeficiente de correlación r de las ecuaciones de ajuste permite establecer el grado de correlación lineal entre la capacidad de adsorción (q) y la concentración en equilibrio (C_e). El modelo de Freundlich arrojó los valores de coeficientes de correlación (r) más altos y los valores de SSRE más bajos. Este hecho puede ser interpretado como una mayor aplicabilidad del modelo de Freundlich en relación al modelo de Langmuir por lo que se infiere que la superficie del

adsorbente es heterógena, como lo supone este modelo, y además al aumentar la energía libre de adsorción, el número de centros de adsorción disminuye exponencialmente (29).

Además, que el mejor ajuste sea el de las isothermas de Freundlich permite inferir que la capacidad de equilibrio se incrementa proporcionalmente con el aumento en la concentración en la fase líquida, lo cual se confirmó con los resultados obtenidos en los procesos por carga a las diferentes concentraciones iniciales de calcio.

Este comportamiento también fue reportado por Sepehr y col. (26) quienes reportaron coeficientes de 0,991 y 0,996 en el ajuste a la isoterma de Freundlich de los datos de adsorción del calcio sobre la piedra de dolomita cruda y modificada con NaOH, respectivamente.

Los valores de la pendiente e intercepto de las ecuaciones de las rectas obtenidos de los ajustes lineales permiten obtener las constantes de cada modelo, las cuales dilucidan el comportamiento de los carbones, estas constantes se presentan en la Tabla 3.

La constante empírica K_F que depende de la naturaleza del adsorbente del adsorbato, representa un buen indicador del proceso de adsorción. El valor más alto corresponde a CAF, seguidos de los carbones CAC y CAN. Los valores de n obtenidos para el CAN y el CAF se encuentran cercanos a los reportados por Sepehr y col. (26) durante la adsorción de calcio utilizando piedra pumita como adsorbente reportaron valores que oscilaron entre 0,263 y 0,357.

Conclusiones

La caracterización fisicoquímica de los carbones activados preparados a partir de las cáscaras de naranja y de la *Cassia*

fistula reflejo que los mismos pueden utilizarse para procesos de adsorción por carga y flujo continuo por su alta resistencia mecánica.

La curva de decaimiento de la concentración de calcio mostro que para las condiciones de la adsorción por carga (T=25°C, Co: 136 mg/L y 0,1 g de carbón activado), el equilibrio de adsorción sólido – líquido se alcanzó alrededor de los 40 minutos.

Se obtuvo que los porcentajes de remoción de calcio obtenidos por los carbones CAN y CAN fueron mayores a los obtenidos por el CAC. Esto significa que estos materiales adsorbentes pueden de ser empleados en tratamientos de aguas para la reducción de dureza en aguas para consumo o uso industrial.,

Las isothermas de adsorción de calcio por los carbones activados preparados y el carbón activado comercial mostraron una forma del tipo S subgrupo 4, por lo que a bajas concentraciones del soluto en la solución acuosa existió poca afinidad con el adsorbente. Esta afinidad se incrementó en la medida que aumentó la concentración de soluto en la solución.

Referencias bibliográficas

1. SOTO, F. *Ing, Invest y Tecnol.* 11(2):167-177. 2010
2. ZHI, S., ZHANG, K. *Desalination* 381:8-14. 2016.
3. BRASTAD, K., HE, Z. *Desalination* 309:32-37. 2013.
4. DE SOUSA, C., CORREIA, A., COLMENARES, M. *Bol Mal y Salud Amb* 50(2):187-196. 2010.
5. KOO, C., MOHAMMAD, A., SUJA, F. *Desalination* 271:178-186. 2011.
6. ZARGA, Y., BOUBAKER, H., GHAFOR, N., EIFILL, H. *Chem Eng Sci* 96:32-41.
7. ACEVEDO, S., COLINA, M., DÍAZ, A., FERNÁNDEZ, N., BEHLING, E., MARÍN, J., COLINA, G. *Rev Tec Ing Univ Zulia* 30(3): 244-252. 2007
8. TIWARI D., SHING D., SAKSENA D. *J Ind Pollution Control* 14 (2):147-150. 1998.
9. AL-ASHEH, S., BANAT, F., AL-OMARI, R., DUVNJAK, Z. *Chemosphere* 41(5): 659-665. 2000.
10. KARDIVELU K., NAMASIVAYAM, C. *Adv Environ Res* 7(2): 471-478. 2003.
11. AOYOMA, M., TSUDA, M., CHO, N., DOI, S. *Wood Sci Technol* 34:55-63. 2000.
12. MAFRA, M., IGARASHI, D., ZUIM, D.; VÁSQUEZ, E., FERREIRA, M. *Braz J Chem Eng.* 30(3):657 – 665. 2013.
13. VILLAESCUSA, I., FIOLE, N., MARTÍNEZ, M., MIRALLES, N., POCH, J., SERAROLS, J. *Water Res* 38(4):992-1002. 2004.
14. BASSO, M.; CERILLA, E.; CUKIERMAN, A. *Avances en Energía Renovable y Medio Ambiente*, 5: 1 – 6. 2001.
15. ASTM D2854-96. Standard test method for apparent density of activated carbon. 2000.
16. ASTM D2866-94. Standard Test Method for Total Ash Content of Activated carbon. 1999.
17. ASTM D2867-99. Standard Test Method for Moisture of Activated Carbon. 1999.
18. ATSM D4607-94; Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon. 2006.
19. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA-AWWA-WEF). In: Clesceri, L.; Greenberg, A.; Eaton, A. (Ed). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th edition. American Public Health Association, Washintong D.C. I-48 pp. 1998.

20. PINZÓN, M., CARDONA, A. **Revista Bistua** 8(1):21-30. 2010.
21. AHMEDNA, M., CLARKE, S., JOHNS, M., MARSHALL, W., RAO, R. **J Sci Food Agric** 75:117-124. 1997.
22. AGUILAR, P., PRIETO, J., QUINTERO, H., MOLINA, S. **Rev Cub Quim** 20(3):23-90. 2008.
23. JUNG, W., AHN, K., LEE, Y., KIM, K., RHEE, J., PARK, J., PAENG, K. **J Microchem.** 70:123-131. 2001.
24. QUIJANO, E., LÓPEZ, J. (1999). **Información tecnológica** 10(3):45-52. 1999.
25. MORA, D. ALFARO, N. **Rev costarric salud publica** 8(15):1-15.1999.
26. SEPEHR, M., ZARRABI, M., KAZEMIAN, H., AMRANE, A., YAGHMAIAN, K., GHAFFARI, H. **Appl Surf Sci** 274:295-305. 2013.
27. ALTUNDOGAN, H., TOPDEMIR, A., CAKMAK, M., BAHAR, N. **J Taiwan Chem Eng.** 58:219-22. 2016.
28. KHALED, A., AHMED E., AMANY, E., OLA, A. **J Hazard Mater** 165(1-3):100-110. 2009.
29. FIGUEROA, D., MORENO, A., HORMAZA, A. **Ingenierías,** 14(26):105-120. 2015.
30. LU, Q., SORIAL, G. **Carbon** 42: 133-3142. 2004.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

CIENCIA

Vol. 24, N° 4 (2016)

Esta revista fue producida y editada en formato digital en diciembre de 2016,
por el personal de la **Revista CIENCIA**, Oficina de Publicaciones Científicas
de la Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia.

Maracaibo - Venezuela

www.luz.edu.ve

www.serbi.luz.edu.ve

produccioncientifica.luz.edu.ve

BIOLOGÍA/BIOLOGY

Inducción de embriogénesis somática in vitro de *Medicago truncatula* 2HA
In vitro induction of somatic embryogenesis in *Medicago Truncatula* 2HA 169
Maribel Colmenares-Esqueda y Carlos Gimenez Alvarado
(Maracaibo, Venezuela)

Soils with hardened laterites are they really high P-sorbing?
Los suelos con lateritas endurecidas: ¿Son realmente altamente adsorbentes de P? 178
Danilo López-Hernández
(Caracas, Venezuela)

Cuantificación e identificación de hongos filamentosos en condimentos de uso común comercializados en Cumaná, estado Sucre, Venezuela
Quantification and identification phylamentous fungi in spices of common use, commercialized in Cumana, Sucre state, Venezuela 187
Daniel José Muñoz, Crucita Graü de Marín e Hilda Marval
(Sucre, Venezuela)

Adsorción de calcio utilizando carbón activado obtenido de *Cassia fistula* y cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*)
Calcium adsorption using activated carbon obtained from *Cassia fistula* and orange peels (*Citrus sinensis*) 197
Sedolfo Carrasquero, Verónica Gutiérrez, Lily Ocando, Yenifer Ramírez, Julio Cesar Marín y Gilberto Colina
(Maracaibo, Venezuela)

QUÍMICA/ CHEMISTRY

Copolimerización de etileno con poliolefinas de cadenas largas empleando un catalizador Ziegler-Natta modificado
Copolymerization of ethylene with polyolefins of long chains using a modified Ziegler-Natta catalyst 207
Angel Morillo, Delcys Paz, Alex Méndez, Juan Chirinos, Ariana Delgado, Darmenia Ibarra y Mayamarú Guerra
(Maracaibo, Venezuela)