

Adsorption capacity of activated carbon on total chromium from tannery waste

Karelys Sánchez¹, Gilberto Colina^{2*}, María Pire³, Altamira Díaz²,
Sedolfo Carrasquero²

¹Universidad Nacional Experimental politécnica de la Fuerza Armada Nacional (UNEFA).

²Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Facultad de Ingeniería.

Universidad del Zulia (LUZ). ³Programa de Ingeniería Agroindustrial Decanato de Agronomía,
Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela.

*gicolina@hotmail.com

Abstract

The overall purpose of the study was to evaluate the adsorption capacity of activated carbon on total chromium tannery waste. The adsorptive capacity of activated carbon derived from bagasse of sugarcane (CAB) and carob husks (CAA) was studied realizing tests in liquid phase with a stirring time of 60 min. Coal was obtained by a chemical activation process of the precursor with H₃PO₄ to 40% and a temperature of 500°C. The characterization of the adsorbent consisted of a physical-chemical analysis (bulk density; % ash and % humidity) according to ASTM standards and the specific surface area determination following the method of the iodine technique. The commercial activated carbon Norit-A (ACC) was used as a reference standard. The specific surface areas for the CAB, CAA and CAC were adsorbed I₂ 568,33 mg/g coal, I₂ 526,44 mg adsorbed/ g coal and adsorbed I₂ 519,46 mg/g coal, respectively. The content of total chromium in tannery effluent was analyzed, observing that the activated carbons had similar efficiencies in the removal of this metal ion.

Keywords: adsorption of total chromium, Activated carbon, isotherms, effluents from tanneries.

Capacidad de adsorción del carbón activado sobre cromo total proveniente de los desechos de tenerías

Resumen

El propósito general de la investigación fue evaluar la capacidad de adsorción del carbón activado sobre cromo total proveniente de los desechos de tenerías. Se estudió la capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido a partir del bagazo de la caña de azúcar (CAB) y de la cáscara de algarrobo (CAA) realizando ensayos de adsorción en fase líquida con un tiempo de agitación de 60 min. El carbón fue obtenido mediante un proceso de activación química del precursor con H₃PO₄ al 40% y una temperatura de 500°C. La caracterización del adsorbente consistió en un análisis fisicoquímico (densidad aparente, % cenizas y % humedad) según las normas ASTM, así como la determinación del área superficial específica siguiendo el método de la técnica de índice de yodo. Se utilizó el carbón activado comercial Norit-A (CAC) como patrón de referencia. Las áreas superficiales específicas para el CAB, CAA y CAC fueron de 568,33 mg I₂ adsorbido/g carbón, 526,44 mg I₂ adsorbido/g carbón y 519,46 mg I₂ adsorbido/g carbón, respectivamente. Se analizó el contenido de cromo total en el efluente de tenería, observándose que los carbones activados tuvieron eficiencias similares en la remoción de este ión metálico.

Palabras clave: adsorción de cromo total, carbón activado, isoterms, efluentes de tenerías.

Introducción

Dentro de los efluentes líquidos industriales, uno de los contaminantes que más afecta al ambiente es el de los metales pesados. Estos están considerados como uno de los grupos más peligrosos debido a su no biodegradabilidad, su alta toxicidad a bajas concentraciones y su capacidad para acumularse en diferentes organismos [1].

El cromo es usado en la industria de curtiente como agente de curtido. En este sentido, es generado gran cantidad de curtiente que no se fija y finalmente se descarga al ambiente en las aguas residuales, causando efectos negativos en el ambiente y en la salud humana [2].

Desde hace años se han realizado esfuerzos con el objetivo de encontrar una alternativa válida para resolver el problema del impacto ambiental de residuos las tenerías. Entre las opciones se han considerado procesos mixtos de curtición vegetal y sales de aluminio, los cuales presentan ciertas ventajas pero no han logrado desplazar al cromo como principal agente curtiente [3], siendo entonces necesario estudiar diferentes métodos para la remoción de este contaminante de las aguas residuales de las tenerías. La adsorción se considera como un método eficiente para eliminar metales pesados presentes en aguas residuales [4, 5]. Diversos materiales adsorbentes se han probado para eliminar cromo en aguas de tenería, entre estos materiales se destacan carbón activado, alúmina activada, zeolitas naturales y varios biosorbentes [6, 7, 8].

Los carbones activados han sido los adsorbentes más ampliamente utilizados debido a su buena capacidad para adsorber materia orgánica e inorgánica [9]. Son materiales complejos y heterogéneos con características adsorptivas únicas, influenciadas principalmente por la estructura del poro, el área superficial y la estructura química de la superficie [10].

La creciente demanda internacional de carbones activados, principalmente asociada a su uso en la resolución de problemas del ambiente, ha conducido a investigar el empleo de diversos residuos agroindustriales como potenciales precursores para su producción. Este tipo de materiales lignocelulósicos de bajo costo y abundante disponibilidad, tales como: cáscara o semillas de

frutas, aserrín de madera, bagazo de caña de azúcar, son sometidos a diferentes estrategias de activación para su conversión a carbones activados [11]. El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad de adsorción del carbón activado sobre cromo total proveniente de los desechos de tenería, a través de la activación química con ácido fosfórico.

Parte experimental

Materiales y métodos

El agua residual industrial fue tomada de una tenería ubicada en el estado Lara, al oeste del municipio Iribarren, próxima a la antigua carretera que comunicaba a las ciudades de Barquisimeto y Carora. En esta investigación se analizaron ocho muestras de aguas residuales de curtido, resultantes de un tratamiento biológico por medio de un proceso aeróbico utilizando lodos activados en un reactor de carga secuencial (SBR) alimentado con una mezcla del efluente de la tenería proveniente de los procesos de pelambre y teñido. Dichas muestras se analizaron en el laboratorio de investigación del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.

Adsorbentes

Se seleccionó como muestra el bagazo de caña, que se recolectó de los desechos generados al extraer el jugo de caña de azúcar de un puesto ubicado en la Circunvalación 1 del Municipio Maracaibo, en el estado Zulia. De igual forma se seleccionó la cáscara de la legumbre del algarrobo, la muestra fue tomada de una localidad del estado Apure, Venezuela.

Métodos

Obtención del carbón activado

Se pesó 40 g de bagazo de la caña de azúcar y 33,4 g de cáscara de algarrobo ya molido, se llevaron los precursores a la estufa por una hora, se colocaron en un recipiente de vidrio y se les adicionó una solución de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 40%, 32 mL (H_3PO_4) para el precursor de bagazo de la caña de azúcar y 26,7 mL (H_3PO_4) para el precursor de cáscara de algarrobo. Luego esta mezcla se dejó reaccionar por espacio de una

hora en el desecador. Posteriormente, se obtuvo una pasta de suave consistencia, que fue carbonizada en una mufla calentada eléctricamente a una temperatura de 500°C por espacio de una hora bajo una campana de extracción.

Transcurrido ese tiempo, los carbones obtenidos fueron lavados con suficiente agua caliente (entre 70°C y 80°C), y con una solución alcalina de hidróxido de sodio 0,02N (NaOH), hasta ajustar su pH entre (6,5 a 7,0).

Caracterización del carbón activado y ensayos por carga

La determinación de algunas propiedades fisicoquímicas, tales como densidad aparente, contenido de cenizas, contenido de humedad y área superficial se realizaron bajo las normas ASTM. Los carbones activados en forma granular fueron tamizados para obtener una distribución de partículas adecuadas. Para ello, se tomó el polvo compuesto por partículas mayor al tamiz N° 70 y menor al tamiz N° 80, de esta manera el diámetro de partícula estuvo comprendido entre (0,212 y 0,180) mm. Los carbones activados preparados recibieron la siguiente nomenclatura: carbón activado de cáscara de algarrobo (CAA) y carbón activado de bagazo de la caña de azúcar (CAB), comparando con un carbón comercial (CAC).

Proceso de adsorción mediante ensayo por carga

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). Se colocaron en un matraz de 250 mL, una cantidad de 100 mL de la muestra de agua residual de tenería que provenía de un tratamiento biológico en un reactor por carga secuencial, con alrededor de 0,1 g de la muestra de carbón activado.

El período de agitación fue de 1 hora. Luego el carbón activado fue removido de la solución por filtración al vacío, utilizando papel de filtro Whatman N° 12,5 cm. Los filtrados fueron analizados posteriormente.

Los resultados obtenidos del proceso de adsorción fueron ajustados a la ecuación de Freundlich:

$$\log q = 1/n \log C_e + \log K_F \quad (1)$$

donde q es la cantidad de adsorbato adsorbido (mg/g), K_F es la constante de Freundlich que indica la capacidad de adsorción (L/g), C_e es la concentración en el equilibrio de la fase líquida (mg/L) y n es la constante de heterogeneidad de los sitios de energía. La isoterma de Freundlich puede ser graficada a partir de la ecuación 2, donde la pendiente de la recta equivale a $1/n$ y el intercepto, al valor de K_F .

De igual manera fueron ajustados al modelo de Langmuir.

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{bK_e C_e} + \frac{1}{b} \quad (2)$$

donde q es la cantidad de adsorbato adsorbido (mg/g), K_e es la constante de equilibrio de Langmuir (L/mg), b es la constante de la capacidad de adsorción de la monocapa (mg/g) y C_e es la concentración en el equilibrio de la fase líquida (mg/L). La isoterma de Langmuir puede ser graficada a partir de la ecuación 3 en donde la pendiente de la recta equivale a $1/bK_e C_e$ y el intercepto, al valor de b .

Resultados y discusión

Caracterización del adsorbente y propiedades fisicoquímicas

El rendimiento obtenido para el carbón activado a partir de bagazo de caña de azúcar fue de 34,4% mientras que para el carbón de algarrobo presentó un valor de 27,2%. Dichos valores son inferiores a los reportados por otros investigadores, quienes reportaron un 37,0% para el CAB [12], y un 35% para el CAA [13], en condiciones similares. La distribución de partículas de los diferentes tipos de carbones activados tratados se muestra en la Figura 1.

En la Figura 1, se puede observar la formación de una onda o campana bastante simétrica, teniendo el CAA una mayor uniformidad de diámetro de partícula, cuyo valor osciló entre 1,70 y 1,18 mm equivalente a un 72,40% del total de partículas; mientras que para el CAC el diámetro de partícula está comprendido entre 0,71 y 0,43 mm, constituyendo un 76,60% del total de partículas. Para el CAB, el diámetro de partícula osciló entre 1,18 y 0,710 mm, formando un 67,00% en conjunto de partículas.

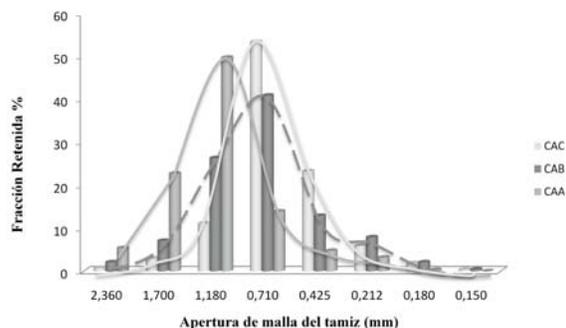


Figura 1. Distribución del tamaño de partículas del CAA, CAB y CAC.

El análisis de las características fisicoquímicas de los carbones activados se muestra en la Tabla 1. Se observa que el contenido de cenizas para los carbones activados es alto, pero el CAB y CAA poseen menor contenido de cenizas que el CAC, el aumento de cenizas se debe al incremento en la cantidad de compuestos inorgánicos o minerales, formados por la adición del agente activante (H_3PO_4) y por el aumento de temperatura del tratamiento térmico [14].

Por su parte, el CAB mostró un valor de humedad mucho más bajo que el reportado para el precursor de donde proviene (9,4%) [12], esto es debido al proceso de activación al cual fue expuesto, en donde las moléculas generalmente de agua son evaporadas. La resistencia mecánica de los carbones activados se puede determinar por la densidad aparente.

Adsorción de yodo

La adsorción de yodo se realizó con el propósito de establecer la capacidad de los carbones activados preparados por activación química de adsorber moléculas no polares de diámetro pe-

queño. Generalmente, los valores de yodo pueden relacionarse de manera directa con la capacidad adsorptiva de los carbones activados [15]. Los valores de yodo adsorbido se presentan en la Tabla 2.

El valor más alto del índice de yodo alcanzado en los carbones activados obtenidos en la carbonización a $500^\circ C$ fue con el CAB con 568,33 mg I_2 adsorbido/g carbón, seguido del CAA con un índice de yodo 526,44 mg I_2 adsorbido/g carbón.

La menor adsorción de yodo fue para el CAC con una cantidad de I_2 adsorbido de 519,46 mg I_2 adsorbido/g carbón. En la Figura 2, se observa la curva de decaimiento de la concentración de cromo.

En la Figura 2, se observa la curva de decaimiento de la concentración de cromo con respecto al tiempo, a una temperatura determinada. Los resultados obtenidos indicaron que existe cierta afinidad del adsorbato hacia los sitios de adsorción presentes en la superficie del carbón activado. Se encontró que a las condiciones señaladas, el equilibrio de adsorción sólido – líquido, por parte de los carbones activados preparados (CAB, CAA) y carbón activado comercial ocurre alrededor de los 60 min aproximadamente.

Esto se observa gráficamente a medida que la cantidad residual del metal desciende en la medida que transcurre el tiempo de contacto entre el metal en solución y la superficie del carbón. No obstante, conforme a los CAB, CAA y CAC se van saturando del metal haciendo que la velocidad de adsorción disminuya, alcanzándose el equilibrio de adsorción de cromo, es decir, hasta que la concentración reducida se hace constante.

En la Tabla 3, se muestra los resultados de las concentraciones de cromo total en las aguas

Tabla 1
Características fisicoquímicas de los carbones activados

Adsorbente	Densidad Aparente (g/mL) Prom \pm DS	Cenizas (%) Prom \pm DS	Humedad (%) Prom \pm DS	DPP _{efectivo} /mm
CAC	0,63 \pm 0,04	8,72 \pm 0,47	10,00 \pm 0,00	0,76
CAA	0,42 \pm 0,01	5,65 \pm 1,02	6,63 \pm 1,08	1,35
CAB	0,22 \pm 0,005	2,7 \pm 0,005	4,40 \pm 1,00	0,93

Prom: Promedio DS: Desviación estándar.

Tabla 2
Capacidad adsortiva de los carbones por la técnica del índice de yodo

Carbón activado	mg I ₂ adsorbido/g carbón
CAB	568,33
CAA	526,44
CAC	519,46

residuales de curtiembre, así como la cantidad de adsorbato adsorbido. La cantidad de soluto adsorbido sobre los carbones activados (CAB, CAA y CAC), fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$q = \left(\frac{C_o - C_e}{m} \right) * V \quad (3)$$

Donde q es la cantidad de adsorbato adsorbido (mg/g), C_o 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.

La C_o del metal estuvo en un promedio de 4,24 ± 0,03 mg de cromo/L, con la aplicación de los carbones CAC, CAB y CAA se obtuvo un promedio de C_e de 1,33 ± 0,06 mg/L; 1,21 ± 0,07 mg/L y 1,59 ± 0,06 mg/L respectivamente. El valor de (q) aumenta con el incremento de la concentración inicial de cromo como se muestra en la Tabla 3. Este comportamiento teórico concuer-

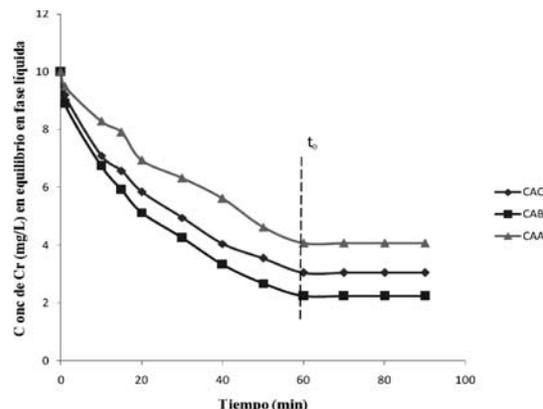


Figura 2. Curva de decaimiento de concentración de cromo. Condiciones iniciales: 0,1 g de carbón activado preparado a 500°C y comercial, 100 mL de solución a C₀= 10 mg/L y T= 25°C.

da con los resultados experimentales obtenidos por otros investigadores [16]; estos autores observaron que la capacidad de remoción (q) de los carbones se incrementaba con el aumento de la concentración inicial de Cr (VI).

A partir de los valores de la Tabla 3, se graficó (q) vs (C_e) para así determinar las isotermas de adsorción de cromo. En la Figura 3, se muestra las isotermas de adsorción de cromo total por los carbones activados.

Todas las isotermas mostraron la forma del tipo H, de acuerdo a la clasificación de Giles [17]. Este tipo de isoterma (H) se considera un caso especial de las isotermas tipo L y es indicativo de

Tabla 3
Concentración y cantidad adsorbida de cromo total

C _o (mg/L) Prom ± DS	C _e CAC (mg/L) Prom ± DS	C _e CAB (mg/L) Prom ±DS	C _e CAA (mg/L) Prom ± DS	q (CAC) mg Cr/g	q (CAB) mg Cr/g	q (CAA) mg Cr/g
1,64 ± 0,01	0,71 ± 0,12	0,46 ± 0,17	0,97 ± 0,08	0,93	1,17	0,66
2,70 ± 0,02	0,90 ± 0,01	0,68 ± 0,17	1,16 ± 0,1	1,80	2,01	1,54
3,70 ± 0,17	1,11 ± 0,06	0,99 ± 0,01	1,37 ± 0,05	2,58	2,70	2,32
4,05 ± 0,03	1,2 ± 0,06	1,14 ± 0,08	1,46 ± 0,03	2,85	2,90	2,58
4,29 ± 0,01	1,33 ± 0,05	1,28 ± 0,06	1,59 ± 0,11	2,95	3,00	2,69
5,01 ± 0,04	1,62 ± 0,05	1,55 ± 0,03	1,88 ± 0,04	3,38	3,45	3,12
5,76 ± 0,01	1,82 ± 0,03	1,76 ± 0,03	2,08 ± 0,04	3,94	3,99	3,68
6,80 ± 0,02	1,95 ± 0,15	1,89 ± 0,06	2,21 ± 0,04	4,84	4,90	4,58

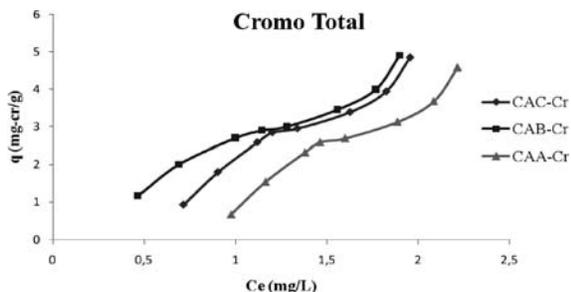


Figura 3. Isotermas de adsorción de cromo total utilizando 0,1 g de carbón activado, temperatura de 25°C, 1 hora de contacto, agitación 50 rpm.

una alta afinidad entre el soluto y el adsorbente. Para bajas concentraciones, la masa de soluto en la solución es completa e instantáneamente adsorbida. La parte inicial de la curva que describe esta isoterma es inicialmente vertical pues el soluto de la solución es completamente adsorbido. En este caso, la masa de soluto adsorbida por la matriz sólida es muy grande, normalmente se necesita una gran concentración de soluto en la solución que está en contacto con el medio poroso para poder saturar los sitios de adsorción. En algunos casos puede tener lugar la formación de complejos y precipitación del soluto en forma de otros minerales [17].

Las Figuras 4(a) y 4(b) muestran el ajuste de los resultados obtenidos en el proceso de adsorción a los modelos de Freundlich y Langmuir. En la Figura 4(a) existe mayor linealidad y menor

dispersión de los datos experimentales con relación a la Figura 4 (b) para todas las muestras. Este hecho puede ser interpretado como una mayor aplicabilidad del modelo de Freundlich en relación al modelo de Langmuir, lo que se traduce en un ajuste óptimo del modelo de Freundlich a la data obtenida experimentalmente.

Las isotermas de Freundlich permiten estimar que la capacidad de equilibrio podría incrementarse proporcionalmente con el aumento en la concentración en la fase líquida [18].

Los valores tales como pendiente e intercepto de la ecuación de las rectas obtenidas de los ajustes lineales de las isotermas de adsorción de cromo y que están relacionados con los modelos matemáticos de Freundlich y Langmuir se muestran en la Tabla 4, de manera separada para cada tipo de adsorbente.

Los resultados obtenidos para el ajuste de Langmuir muestran según los valores de (K) y (b), que el grado de adsorción de cromo sobre los carbones no es muy alto, lo que implica que el número de moles de soluto para formar una monocapa en la superficie del adsorbente es bajo. Por su parte, según el modelo de Freundlich, los valores de K_F muestran que la capacidad de adsorción de cromo es relativamente baja, sin embargo la adsorción sobre el CAB estuvo por encima al reportado para el carbón activado comercial (CAC).

Los valores de coeficientes de correlación r obtenidos para el ajuste de Freundlich mostraron una tendencia más lineal que los obtenidos

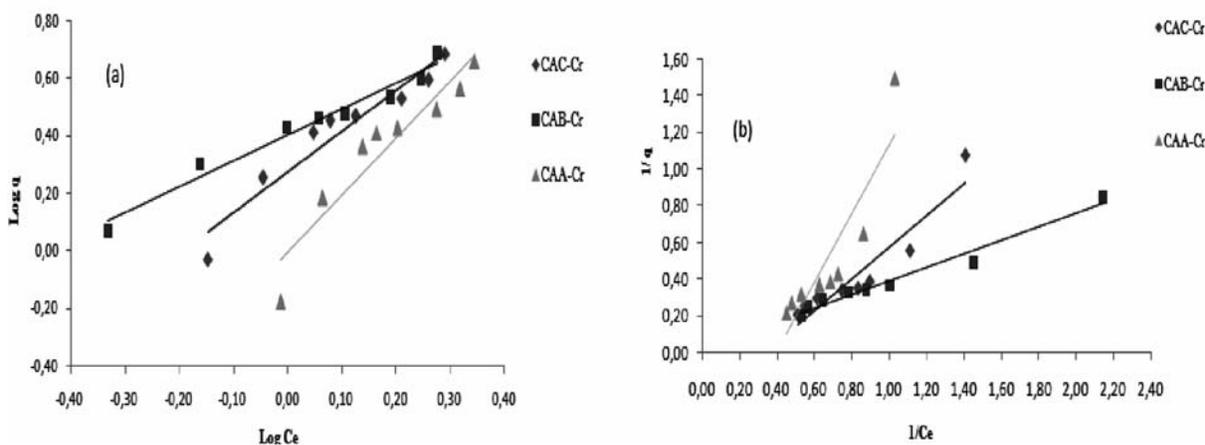


Figura 4. Correlación de los datos de isotermas de adsorción para cromo total (A) Ajuste de Freundlich. (B) Ajuste de Langmuir.

Tabla 4
Constantes de las isotermas de Freundlich y Langmuir a partir de los datos experimentales de cromo total

Adsorbentes	Freundlich			Langmuir		
	KF,L/g	n	r	K, L/mg	b, mg/g	r
CAB	2,53	1,11	0,98	0,06	40,00	0,98
CAA	0,99	0,50	0,94	-0,39	-1,33	0,89
CAC	1,88	0,70	0,96	0,33	3,47	0,94

para el ajuste de Langmuir, como consecuencia este modelo se correlaciona de manera satisfactoria a los datos de isotermas obtenidos experimentalmente. Por su parte, el valor de n para el CAB fue mayor que la unidad, esto muestra una adsorción multicapa favorable para el metal en estudio e indica la afinidad del adsorbato con el carbón activado [19].

Conclusiones

Aplicando la prueba de comparación de medias de TUKEY, los carbones activados tuvieron características físico-químicas diferentes estadísticamente, obteniendo mayor % de humedad y de cenizas el CAC, seguidos por el CAA y el CAB respectivamente. El mayor índice de yodo alcanzado se obtuvo sobre el CAB con 568,33 mg I₂ adsorbido/g carbón, seguido del CAA y el CAC con 526,44 y 519,46 mg I₂ adsorbido/g carbón respectivamente.

El sistema de tratamiento demostró ser efectivo para la remoción de cromo total presentes en el agua residual objeto de estudio, teniendo remociones de 71,44% con CAB, seguido del CAC con un promedio de remoción de 67,45% y el CAA con 60,08 % de remoción.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humánico (CONDES) por el financiamiento de este proyecto.

Referencias bibliográficas

- Higuera, O., Escalante, H., La Verde, D. "Reducción de cromo contenido en efluentes líquidos de la industria del cuero, mediante un proceso adsorción-desorción con algas marinas". *Scientia et Technica* Vol. XI, No 29, (2005) 115.
- Lujano, E., De Fuentes, J., Baricelli, P., Romero, C., Bolívar, C., Pardey, A. "Desarrollo de un proceso para la remoción y recuperación de iones Cr (III) en efluentes de tene-rías". Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria e Ambiental. Universidad Carabobo. Venezuela (2001).
- Benejam, M.F., Pujol, R.O. "Reducción de la contaminación en la curtición al cromo". *Revista Ingeniería Química*, 365, No 2, (2000) 172-173.
- Hakan Demiral. "Adsorption of chromium (VI) from aqueous solution by activated carbon derived from olive bagasse and applicability of different adsorption models". *Chemical Engineering Journal*. Vol. 144, No 2 (2008) 188-196.
- Selvi, K., Pattabhi, S., Kadirvelu, K. "Removal of Cr (VI) from Aqueous Solution by Adsorption onto Activated Carbon". *Bioresource Technology*. Vol 80, No 2, (2001) 87-89.
- Khezami, L y Capart, R. "Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution by Activated Carbons: Kinetic and Equilibrium Studies". *Bioresource Technology*. Vol 91, No 3, (2004) 317-321.
- Mor, S., y Bishnoi N. "Adsorption of Chromium from Aqueous Solution by Activated Alumina and Activated Charcoal". *Bioresource Technology*. Vol 98, No 4, (2007). 954-957.
- Doria G. M; A. Hormaza; D. Gallego. *Cascari-lla de arroz: Material alternativo y de bajo*

- costo para el tratamiento de aguas contaminadas con Cromo (VI). *Gestión y Medio Ambiente*. Vol. 14, No. 1, (2001) 73-84.
9. Dvorak, B; Lawler, D.; Speitel, G.; Jones, D.; Badway, D. "Selecting among physical/chemical processes for removing synthetic organics from water". *Water Environ. R.* Vol. 65, (1993) 827-833.
 10. Jung, W.; Ahn, K.; Lee, Y.; Kim, K.; Rhee, J.; Park, J.; Paeng, K. "Adsorption characteristics of phenol and chlorophenols on granular activated carbons (GAC)". *Microchem. J.*, Vol. 70, (2001) 126.
 11. Basso, M., Cerella, E., Cukierman, A. "Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados mediante carbones activados obtenidos de un precursor renovable". *Revista Argentina. Avanc. En Energ. Renov y Med. Amb.* Vol. 5, No 1 (2001) 1-6.
 12. Contreras, J. "Capacidad adsorptiva del carbón activado preparado a partir del bagazo de la caña de azúcar para la adsorción de fenol, 2-clorofenol, 2-nitrofenol y 2,4-dimetilfenol". *Rev. Ciencia*. Vol. 16, No 1 (2008) 2-3.
 13. Poleo, N., Oliveros, S., Colina, M., Rincón, N., Mesa, J., Colina, G. "Study of different chemical activatings on obtaining activated carbon from *Hymenaea courbaril* L shell for cadmium (11) removal". *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. Vol. 33. N° 1, (2010) p.p 1-10.
 14. Khail, L. "Adsorption characteristics of activated carbon obtained from rice husks treatment with phosphoric acid". *Adsorp. Sci and Tech.* Vol 13, No 3 (1996) 317-321.
 15. Zapata, Z., Rojas, D., Arena, E., Chejne, F., Londoño, C., Pérez, J. "Producción de carbón activado a partir de carbón subbituminoso en reactores de lecho fluidizado por proceso autotérmico". Vol. 78. N° 147 (2005) 47-56.
 16. Contreras, E., Ferro, A., Urriza, M., Bertola, N., Zaritzky, N. "Cinética de remoción de Cr (VI) con carbón activado". *Bioresource Technology*. Vol 13, No 2, (2005) 1-15.
 17. Sparks D.L. Ion exchange processes. Chapter 6 in *Environmental soil chemistry*. Academic press. New York. 141-158. (1995).
 18. Roostaei, N.; Tezel, H. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. *J. Environ. Management*. Vol. 70, (2004), 157-164.
 19. Aygün A, Yenisoy-Karakas S, Duman, I. Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 66, (2003), 189-195.

Recibido el 07 de Enero de 2012

En forma revisada el 18 de Febrero de 2013