

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE COCO MEDIANTE STEAM EXPLOSION

María Lorena Correa L., Jorge Velásquez J.^{**†}

**Facultad de Ingeniería Química. Universidad Pontificia Bolivariana, Cq. 1 #70-01
Medellín, Colombia,*

Recibido 10 Agosto 2009; aceptado 04 Diciembre 2009
Disponible en línea: 27 Diciembre 2009

Resumen: Se emplea cáscara de coco para producir carbón activado mediante steam explosion seguido de una activación química con ácido fosfórico para maximizar la adsorción de níquel (Ni+2). La cáscara de coco se caracterizó y se obtuvo: 6.09% de humedad, 1.10% de cenizas, 9.71% de extractivos acuosos, 10.04% de extractivos orgánicos y 43.01% de lignina klason. A partir de un diseño de selección, fracción un medio con cinco puntos al centro 25-1, se determinaron las condiciones óptimas de producción de carbón activado de cáscara de coco, las cuales maximizan el porcentaje de adsorción de níquel: severidad del pretratamiento con vapor (steam explosion) 3.2, relación ácido fosfórico-cáscara 1.0, tiempo de impregnación 2.1 h, temperatura de carbonización 600°C y tiempo de carbonización 2.5 h. Se obtuvo un número de yodo de 662 mgI/g carbón; y al utilizar el carbón óptimo producido se obtuvo una remoción del Ni+2 del 86% en el proceso discontinuo. Copyright © 2009 UPB.

Abstract: Coconut shell was used to produce activated carbon by steam explosion followed by chemical activation with phosphoric acid to maximize the adsorption of nickel (Ni +2). The coconut shell was characterized and was obtained: 6.09% moisture, 1.10% ash, 9.71% aqueous extracts, 10.04% organic extracts and 43.01% Klason lignin. From a selection design, one half fraction with five points to the center 25-1, optimal conditions were determined to produce activated carbon from coconut shell, which maximize the percentage of adsorption of nickel: steam explosion severity 3.2, phosphoric acid-shell ratio 1.0, impregnation time 2.1 h, carbonization temperature 600°C and carbonization time 2.5 h. The iodine number was 662 mgI/g carbon; a nickel removal of 86% was obtained with the produced optimal carbon during the batch process. Copyright © 2009 UPB.

Keywords: Activated carbon, coconut shell, steam explosion, adsorption, nickel.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de carbón activado está en manos de países desarrollados como: Alemania,

Holanda, Reino Unido, China, Estados Unidos y Japón ([Congreso iberoamericano de metalurgia y materiales, 2006](#)). Se estima que la demanda mundial de carbón activado se ampliará 5.2%

† Autor al que se le dirige la correspondencia:
Tel. (+574) 415 9020 ext. 9582.
E-mail: jorge.velasquezj@upb.edu.co (Jorge Velásquez).

anual hasta el año 2012 a 1.2 millones de toneladas métricas ([Market Research, 2008](#)).

El carbón activado es un producto cotizado en el mercado mundial por sus aplicaciones, tanto en fase gaseosa como líquida. El mayor consumo a nivel mundial es para aplicaciones en fase líquida siendo éste de hasta un 80%. Entre sus variados usos se puede mencionar: el tratamiento de aguas, decoloración, recuperación de metales pesados, adsorción de gases, entre otros ([Luna, 2008](#)).

En Colombia, el uso de carbón activado mantiene un ritmo creciente, su precio actual se ha elevado resultando costosa su adquisición. Colombia cuenta con una variedad de recursos carbonáceos, los cuales pueden ser utilizados como materia prima para la producción de carbón activado, entre ellos están las cáscaras de coco ([Echavarría & Gómez, 2008](#)).

El carbón activado de cáscara de coco tiene varias ventajas sobre carbones obtenidos de otros materiales. Tiene alta densidad y pureza, bajo contenido de cenizas, y estructura de poro uniforme ([Mozammel, 2002](#)).

Las características de un carbón activado dependen tanto de la materia prima como del método por el cual es preparado. Los procesos de fabricación se pueden dividir en dos: activación física y activación química. En la activación química, la materia prima es impregnada con un agente de activación tal como el ácido fosfórico; el material impregnado es tratado con temperatura bajo atmósfera inerte. La activación química se realiza casi exclusivamente para carbones producidos de materia prima vegetal ([Wei, 2008](#)).

Así, los anteriores métodos pueden complementarse con otros como el pretratamiento con vapor (steam explosion). Se refiere al proceso de exposición de materiales fibrosos a alta presión de vapor por un determinado periodo de tiempo, seguido por una expansión súbita del material a presión atmosférica. Permitiendo que al realizarse la activación del carbón, el agente activante pueda penetrar fácilmente la estructura, creando un material más poroso, y por lo tanto con una capacidad de adsorción mayor ([Tam & Antal, 1999](#)).

El objetivo de este trabajo de investigación es optimizar, a nivel de laboratorio, la producción de carbón activado, a partir de cáscara de coco mediante steam explosion seguido de una

activación química con ácido fosfórico, para maximizar la adsorción de níquel (Ni+2).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Cáscara de coco. Las cáscaras de coco utilizadas son residuos de la obtención de productos deshidratados comestibles de la empresa IPRODESA S.A., de la ciudad de Medellín, Colombia.

2.2. Métodos

2.2.1. Tratamiento de la cáscara de coco.

Las cáscaras de coco se secan al sol durante 48 horas. El proceso de molienda se realiza en un molino de martillos para obtener partículas de 2-10 mm.

2.2.2. Caracterización de la cáscara de coco

Humedad. Inicialmente se pesan aproximadamente 5 g de muestra húmeda. Se introduce la cáscara en el horno a 105°C durante 4 horas. Pasado este tiempo se retira la muestra del horno, se deja enfriar en un desecador y se pesa de nuevo. Esto se repite hasta alcanzar un peso constante. El análisis se realiza por triplicado.

Cenizas. Aproximadamente 2 g de cáscara con humedad conocida se pesan en un crisol previamente calcinado a 800°C y pesado. La cáscara se calcina inicialmente a 300°C por una hora y por más de dos horas a 800°C. Después de la calcinación, el crisol se enfría y pesa. El análisis se realiza por triplicado.

Extractivos acuosos. Se pesan aproximadamente 2.5 g de cáscara, y mediante una extracción con agua caliente se solubilizan: el almidón, los colorantes, las galactanas, las sales minerales, las sustancias pépticas y algunos azúcares. Inicialmente se determina la cantidad de material seco en el cartucho de extracción. El sistema de extracción soxhlet con agua se mantiene en reflujo 3 días a 100°C, durante este tiempo el líquido de extracción alcanza un color transparente. Finalmente se seca el conjunto cartucho-muestra a 105°C, se enfría en un desecador y se pesa. El análisis se hace por

triplicado. El método seguido se basa en el estándar ASTM D1110-84.

Extractivos orgánicos. Inicialmente se pesan aproximadamente 2.5 g de cáscara. Con ayuda de una mezcla etanol: tolueno (1:2) se logran extraer los compuestos orgánicos. El sistema de extracción soxhlet se mantiene en reflujo durante 1 día, tiempo en el cual el líquido de extracción alcanza un color transparente. Posteriormente se seca el cartucho con el material libre de extractivos a 105°C, se enfría en un desecador y se pesa. El análisis se hace por triplicado. Esta determinación se basa en el estándar ASTM D1107-84.

Lignina klason. Se toman alrededor de 0,3 g de cáscara sin extractivos y se le adicionan 3 mL de ácido sulfúrico al 72 % (24.1 N), se lleva a una temperatura constante de 30°C con agitación durante 1 hora, después se le adicionan 84 mL de agua destilada y se lleva a una autoclave a 120°C por 30 minutos. La suspensión resultante es enfriada a temperatura ambiente y luego filtrada en un embudo utilizando papel de filtración rápida. La lignina insoluble es lavada con agua destilada para la eliminación del ácido residual y posteriormente secada hasta peso constante, este valor corresponde a la lignina insoluble en ácido. Este análisis se realiza por triplicado.

2.2.3. Diseño de selección para la producción de carbón activado

Se consideran los factores de mayor influencia en el proceso de obtención de carbón activado y se aplica un diseño fracción un medio con cinco puntos al centro 2^{5-1} .

Los factores que se analizan en el proceso de obtención y sus niveles se muestran en la Tabla 1.

La variable de respuesta que se analiza en el carbón activado producido es el porcentaje de adsorción de níquel (Ni^{+2}).

En cada ensayo, la parte correspondiente a la severidad se realiza en el equipo de pretratamiento, *Steam Explosion*, el cual consta de: reactor, chaqueta de aislamiento, tanque de despresurización, válvula de aguja, válvula de bola, termopar y registrador de temperatura.

Tabla 1. Factores y niveles

Factor	Nivel	Nivel
--------	-------	-------

	inferior	superior
Severidad del pretratamiento con vapor (Severidad)	3.2	4.8
Relación ácido-cáscara (Relación AC)	1	2
Temperatura de carbonización (T _{Carb} , °C)	400	600
Tiempo de carbonización (Ti _{Carb} , h)	1	2.5
Tiempo de impregnación (Ti _{Impreg} , h)	2	12

Inicialmente se pesan aproximadamente 100 g de muestra de cáscara de coco en base seca. Se introduce la muestra al reactor y se cierra para evitar que hayan fugas de vapor, y se enciende la resistencia del mismo. Se registra el valor de la presión cada 5 minutos, y se calcula el factor de severidad R_o hasta alcanzar el requerido según el diseño de selección. Se abre la válvula que comunica el reactor con el tanque de despresurización, para que se lleve a cabo la expansión súbita. El tanque de despresurización se lava para recuperar todo el material explotado. El material obtenido se deja secar para ser activado posteriormente.

Durante la activación química se pesan aproximadamente 15 g de cáscara explotada totalmente seca y se adiciona la cantidad de ácido fosfórico necesaria para cumplir con la relación ácido-cáscara según el diseño de selección. Se deja reposar la cáscara durante el tiempo de impregnación; posteriormente se coloca la muestra en la mufla a la temperatura de carbonización y se deja durante el tiempo de carbonización. Finalmente, la muestra se lava en un sistema de extracción soxhlet con agua, durante 5 días, y se coloca en el horno a una temperatura de 105°C, durante 24 horas.

2.2.4. Determinación de la capacidad de adsorción del carbón activado

La capacidad de adsorción del carbón se determina mediante la evaluación de la adsorción de níquel (Ni^{+2}), índice de yodo, curva de dosis e isoterma de adsorción.

Evaluación porcentaje de adsorción de níquel. Una muestra de carbón se tritura y se hace pasar por malla 200. Se pesan 0.175 g de carbón y se adicionan 25 mL de una solución de níquel (20 ppm) en buffer pH 7. La muestra se agita a una velocidad de 200 rpm, durante 3 horas a 28°C. Posteriormente se filtra, y se lleva el filtrado a análisis por absorción atómica.

Evaluación del índice de yodo. Una muestra representativa de carbón se tritura hasta que el 95% pasa la malla 325. Se pesan aproximadamente 0.65 g de carbón en base seca y se adicionan 10 mL de HCl al 5%. La muestra con el ácido se pone en ebullición. Se adicionan 50 mL de solución de yodo, se agita y se filtra inmediatamente con un papel de filtro de poro medio. Se toman 25 mL del filtrado y se titulan con una solución estandarizada de tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que la muestra valorada tome una tonalidad amarilla pálida. Se adicionan 2 mL de indicador de almidón, continuando la titulación, hasta que una gota decolore la solución. Finalmente se determina el volumen de tiosulfato empleado.

Curva de dosis. Se prepara una solución de níquel en buffer pH 7, la concentración de ésta permanece constante (20 ppm), igual que la temperatura (28°C), variándose la dosis de carbón activado. Se toman 5 recipientes y a cada uno se le adicionan 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 y 0.25 g respectivamente y 25 mL de la solución de níquel, se agitan continuamente a 200 rpm por 3 horas. Luego se filtra la mezcla y el filtrado se lleva a análisis por absorción atómica. De esta curva se determina la dosis mínima de carbón activado que muestra la máxima adsorción del Ni⁺².

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la cáscara de coco

En Tabla 2 se muestran los resultados de humedad, cenizas, extractivos acuosos, extractivos orgánicos y lignina klason. El resultado del porcentaje de humedad es comparable con los reportados por [Mozammel \(2002\)](#) y [Wei \(2008\)](#) de 10.46 y 10.53% respectivamente. El porcentaje de cenizas es similar al reportado por [Wei \(2008\)](#) de 0.74%, así el bajo contenido de cenizas de la cáscara garantiza poca reducción en la actividad total del carbón. Con respecto al porcentaje de extractivos,

los acuosos reflejan la solubilización de algunas sales, especialmente cloruros, dado el origen de la cáscara; los orgánicos por su parte representan especialmente el contenido de grasas. Finalmente, el porcentaje de lignina es comparable con el reportado por otro autor ([Dr. Calderón laboratorios, 2008](#)) de 45%, a partir de éste se infiere la lenta descomposición de la cáscara.

3.2. Análisis del diseño de selección para la producción de carbón activado

Para la respuesta se realizó un análisis de varianza. Todas las pruebas de hipótesis se han realizado a un nivel de confianza del 95%.

Elección de factores, niveles, variable de respuesta y diseño experimental. Los factores y niveles que se analizaron son aquellos que de experiencias anteriores ([Echavarría & Gómez, 2008](#); [Mozammel, 2002](#); [Wei, 2008](#); [Tam & Antal, 1999](#)) se conoce que tienen una influencia significativa sobre la calidad el carbón.

Tabla 2. Caracterización de la cáscara de coco e intervalo de confianza del 95%.

Parámetro	Unidades
Humedad	6.09 ± 0.16
Cenizas	1.10 ± 0.06
Extractivos acuosos	9.71 ± 1.13
Extractivos orgánicos	10.04 ± 0.71
Lignina klason	43.01 ± 5.96

Rendimiento del pretratamiento con vapor. En el pretratamiento con vapor, la cáscara de coco estuvo sometida a alta presión y temperatura por períodos de tiempo de 30, 60 y 120 minutos aproximadamente, para severidades de 3.2, 4 y 4.8 respectivamente. Así durante éste se evaluó el rendimiento de cáscara explotada, de acuerdo a la severidad y se obtuvo lo que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Rendimiento promedio de cáscara explotada.

Severidad	Rendimiento (%)
3.2	58.09
4	34.67
4.8	32.44

A menor severidad el rendimiento de cáscara explotada es mayor, esto se debe a que normalmente a baja severidad, la lignina que

contiene la cáscara se reblandece menos al entrar en contacto con el vapor, generándose así menos poros; sin embargo, a alta severidad, el rendimiento es menor, ya que el reblandecimiento de la lignina es mayor como la ruptura de cadenas, así se tiene un material más poroso.

Porcentaje de adsorción de níquel. Del ANOVA para el porcentaje de adsorción de níquel y los gráficos respectivos se nota claramente que sólo dos factores, severidad y temperatura de carbonización son estadísticamente significativos. El modelo ajustado en este caso da un R^2 de 90.9% y una desviación estándar de los residuos de 4.6% de adsorción de níquel.

En la [Fig. 1](#), el gráfico de Pareto muestra el efecto de las variables y de sus interacciones, así la interacción severidad-temperatura de carbonización, es quien influye en la producción del carbón activado.

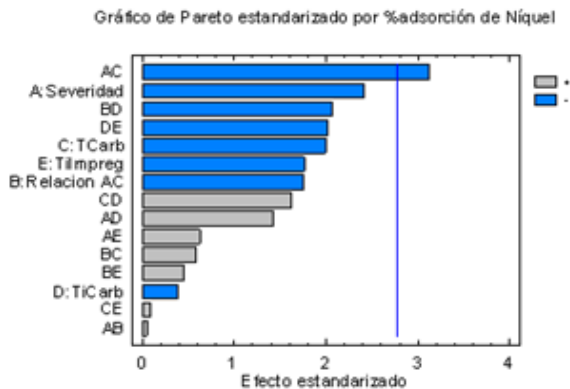


Fig. 1. Gráfico de Pareto estandarizado por %adsorción de níquel.

En el gráfico de interacción, [Fig. 2](#)., se observa el porcentaje de adsorción de níquel estimado en función de un par de efectos, notándose que a menor severidad (3.2) y mayor temperatura de carbonización (600°C), el porcentaje de adsorción de níquel es mayor.

En la [Fig. 3](#), el gráfico de dispersión muestra que tan alejados están los datos experimentales respecto al modelo ajustado.

La [Fig. 4](#), muestra la superficie de respuesta respecto al porcentaje de adsorción de níquel, es decir, el mejor valor para el porcentaje de adsorción de acuerdo a las variables utilizadas.

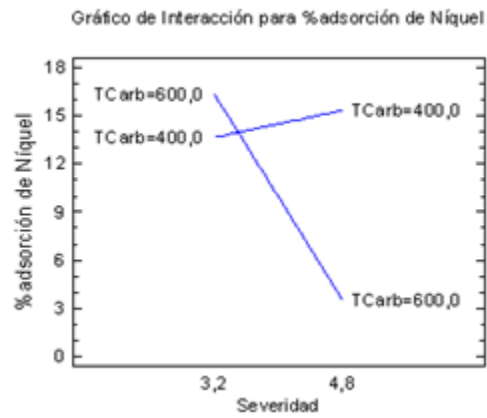


Fig. 2. Gráfico de interacción para %adsorción de níquel.

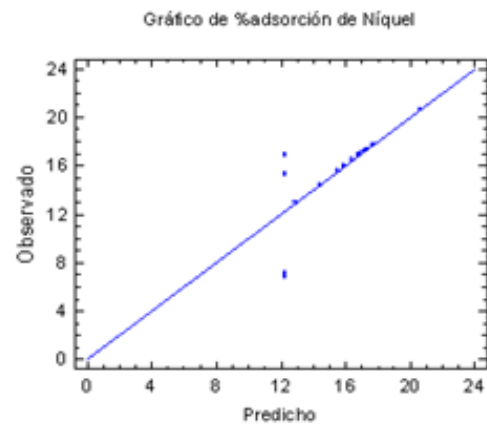


Fig. 3. Gráfico de dispersión para %adsorción de níquel.

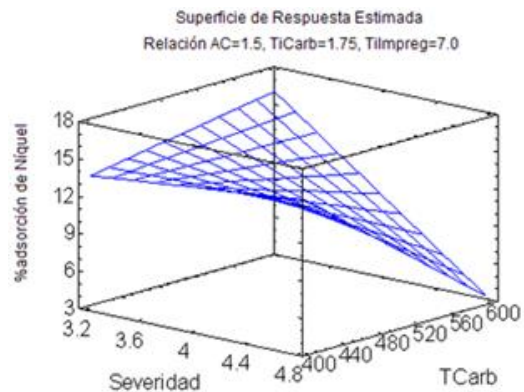


Fig. 4. Superficie de respuesta estimada para %adsorción de níquel.

Así, de acuerdo a la superficie de la [Fig. 4](#), las condiciones para el carbón donde se maximiza el porcentaje de adsorción de níquel son: severidad 3.2 y temperatura de carbonización 600°C para un 16% de adsorción de níquel aproximadamente.

Según el ANOVA y los gráficos de las [Fig. 1 a 4](#) se encuentra que las mejores condiciones para

obtener el carbón activado de cáscara de coco mediante *steam explosion* respecto al efecto de la variable de respuesta (porcentaje de adsorción de níquel) por medio de un análisis multivariable son: severidad 3.2, relación AC 1.0, tiempo de impregnación 2.1 h, temperatura de carbonización 600°C y tiempo de carbonización: 2.5 h.

De las anteriores condiciones cabe mencionar, que a baja severidad la lignina se reblandece menos con el vapor, debido en parte al corto tiempo de contacto, y a las condiciones de presión y temperatura del pretratamiento, generándose así menos cantidad de poros; no obstante, a temperaturas de carbonización altas se genera una mayor cantidad de gases, que limpian y generan un mayor número de poros, facilitando la posterior adsorción de ciertas especies.

Otros autores han encontrado condiciones óptimas similares para la obtención de carbón activado de cáscara de coco, por su parte [Mozammel \(2002\)](#) y Hu obtuvieron como temperatura de carbonización óptima 600°C, mientras que Li obtuvo un tiempo de carbonización similar, 2.0 horas ([HU](#); [WEI, 2008](#)).

Finalmente, el porcentaje de adsorción de níquel (Ni^{+2}) del carbón óptimo realizado es de 16.9%; adicionalmente, el rendimiento en carbón a las condiciones óptimas es de 55%.

El diseño utilizado no es apropiado para optimizar, solo indica cuales son los factores más influyentes en el porcentaje de adsorción y también dice en que región de la estudiada se puede encontrar el mayor valor. En un trabajo posterior se debería buscar la dirección de mayor crecimiento del porcentaje de adsorción hasta que se obtenga una curvatura y alrededor de este punto ajustar una superficie de respuesta. De cualquier manera parece que el óptimo está cerca de la región estudiada.

3.3. Análisis de la capacidad de adsorción del carbón óptimo

Índice de yodo. El número de yodo, en miligramos de yodo adsorbidos por gramo de carbón, para el mejor carbón fue de 662, a partir de éste es posible valorar la capacidad de adsorber moléculas de tamaño grande pero accesibles a los microporos.

Además, el número de yodo permite inferir el valor del área superficial del carbón, ya que en la mayoría de los casos este valor se asemeja al área superficial BET ([Ecoamerica, 2008](#)).

Curva de dosis. La [Fig. 5](#). presenta el gráfico de %adsorción versus dosis de carbón, se observa que a medida que aumenta la cantidad de carbón mayor es la remoción del níquel. La concentración inicial de la solución de níquel en buffer pH 7 para esta curva es de 20 ppm y al cabo de 3 horas se removi6 hasta el 86% del níquel presente en la solución. La mejor dosis es de 0.15 g de carb6n en 25 mL de solución.

La remoci6n de 86% de níquel que se obtuvo de la curva de dosis difiere de la que se logr6 inicialmente, 16,9%, con el mismo carb6n, debido a un error sistemático del equipo de absorci6n at6mica. Los resultados de la curva se obtuvieron luego de la calibraci6n del equipo con una incertidumbre de 0.005 en comparaci6n con la del inicial de 0.024. No obstante, lo anterior no modifica el 6ptimo.

La curva de dosis obtenida tiene un comportamiento similar a otras reportadas, Mancera ([Mancera, 2008](#)) reporta la máxima adsorción para el níquel del 90% para una dosis de 0.25 g de carb6n en 25 mL de solución; así, [Gupta \(2008\)](#) reporta igualmente la máxima adsorción para el níquel del 90% para 1 g de carb6n en 100 mL de solución de níquel, además del incremento del porcentaje de adsorción respecto al aumento de la cantidad de carb6n activado. (p. 190-198).

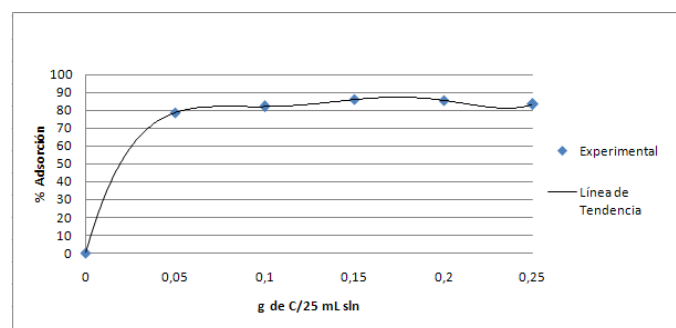


Fig. 5. Curva de dosis

Las condiciones experimentales son: volumen de solución 25 mL, velocidad de agitación 200 rpm y tiempo de contacto 3 h.

4. CONCLUSIONES

A partir de la caracterización de la cáscara de coco se concluye que es útil como materia prima en la obtención de carbón activado de buena calidad, debido específicamente al bajo porcentaje en cenizas, 1.10, y alto en lignina, 43.01. Se logró producir carbón activado de buena calidad, a nivel de laboratorio, mediante la optimización de los parámetros de obtención del mismo. Se notó claramente que sólo dos factores, severidad y temperatura de carbonización son estadísticamente significativos. Así, las condiciones que maximizan el porcentaje de adsorción de níquel (Ni^{+2}) son: severidad 3.2, relación ácido-cáscara 1.0, tiempo de impregnación 2.1 h, temperatura de carbonización 600°C y tiempo de carbonización 2.5 h, a estas condiciones, la adsorción de níquel del carbón óptimo fue de 16.9% y el rendimiento es de 55%. Las condiciones aptas para la adsorción de níquel (Ni^{+2}) en el carbón óptimo producido son: dosis de carbón 0.15g/25 mL, pH 7 y tiempo de contacto 3 h, para una remoción de níquel del 86% en el proceso discontinuo.

REFERENCIAS

- Congreso iberoamericano de metalurgia y materiales (2006). *Aspectos industriales de la producción de carbón activado y sus aplicaciones en la mitigación ambiental*. La Habana, 2006. 417 p.
- Market research. World activated carbon. Global demand to rise 5.2% annually through 2012. (2009). Extraído el 29 de Julio, 2009 del World Wide Web <http://www.marketresearch.com>
- Luna, D., et al. Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *Breve historia del carbón activado*. (2007) Extraído el 28 de Julio, 2008 del World Wide Web http://www.izt.uam.mx/contactos/n64ne/carbon_v2.pdf
- Echavarría, Y. y Gómez, C. (2007) Obtención de carbón activado a partir de cáscara de café mediante steam explosion: introducción. Medellín. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Química.
- ECOAMERICA. Residuos sólidos. En: Transformación de biosólidos en carbon

- activado: una nueva opción [En línea] s.p.i. <Disponibile en: <http://www.ecoamerica.cl>> [consulta: 29 Jul. 2008].
- MANCERA, Andrea. Producción de carbón activado del licor negro y su aplicación como adsorbente: carbón activado. Medellín, 2008. Trabajo de grado (Maestría en Ingeniería Área Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Química.
- Mozammel, H. M. et al. Activated charcoal from coconut shell using ZnCl_2 activation. (2002). *Biomass and Bioenergy* 22 (5) Extraído el 14 de Julio, 2008 del World Wide Web <http://www.sciencedirect.com>
- Wei L., et al. (2008) Effects of carbonization temperatures on characteristics of porosity in coconut shell chars and activated carbons derived from carbonized coconut shell chars. *Industrial Crops and Products*, 28 (2) Extraído el 14 de Julio, 2008 del World Wide Web <http://www.sciencedirect.com>
- Tam, M y Antal, M. Preparation of Activated Carbons from Macadamia Nut Shell and Coconut Shell by Air Activation. (1999) *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 38 (11) Extraído el 14 de Julio, 2008 del World Wide Web <http://pubs.acs.org>
- DR. CALDERÓN LABORATORIOS LTDA. Los sustratos. En: Cáscara de coco [en línea]. <Disponibile en: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm> [Consulta: Oct. 20 de 2008]
- HU, Zhonghua y Srinivasan, M.P. Preparation of high-surface area activated carbons from coconut shell. *Microporous and Mesoporous Materials*, 27 (1) Extraído el 19 de Septiembre, 2009 del World Wide Web <http://www.sciencedirect.com>
- Gupta S., et al. Adsorption characteristics of Cu and Ni on Irish peat moss. *Journal of Environmental Management*, 28 (2) Extraído el 29 de Julio, 2009 del World Wide Web <http://www.sciencedirect.com>

SOBRE LOS AUTORES

Jorge A. Velásquez J.

Docente Investigador e Ingeniero Químico de la Universidad Pontificia Bolivariana. Magister en Productos Forestales de la Universidad de

Guadalajara, México. Doctor en Ingeniería Química de la Universidad Rovira i Virgili, de España. Desde 1993 está vinculado a la UPB. Desde 1997 está al frente del Grupo Pulpa y Papel.

María Lorena Correa.

Ingeniera Químico de la Universidad Pontificia Bolivariana.