



OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE BAMBÚ

OPTIMIZATION OF ACTIVATED CARBON PRODUCTION FROM BAMBOO

A. Velázquez-Trujillo, E. Bolaños-Reynoso y Y.S. Pliego- Bravo*

División de Estudios de Posgrado e Investigación - Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente. 9 #852. Col. E. Zapata. C.P. 94320, Orizaba, Ver. México.

Recibido 26 de Agosto 2009; Aceptado 24 de Febrero 2010

Resumen

El presente trabajo tiene el fin de optimizar las condiciones de producción de carbón activado a partir de bambú *Bambusa vulgaris striata*. En la producción de carbón activado, se utilizó la metodología de superficie de respuesta con un diseño compuesto central para identificar los factores temperatura (T) y tiempo (t) de activación que maximizan el área superficial del carbón activado, el agente activante empleado fue vapor de agua. Se realizó la caracterización del carbón obtenido bajo condiciones óptimas, utilizando Normas ASTM y el método químico de Bohem para identificar grupos funcionales superficiales. Las condiciones óptimas de activación de carbón activado por activación física son $T = 550.98$ °C y un $t = 122.76$ min obteniendo como resultado un área superficial de 917 mg/g, con lo que se cumple el objetivo de haber aplicado la metodología de superficie de respuesta para optimizar las condiciones de producción de carbón activado, por activación física, cumpliendo con los requerimientos de calidad que el mercado demanda.

Palabras clave: optimización, carbón activado, adsorción, metodología de superficie de respuesta, diseño compuesto central.

Abstract

The aim of this work was to find the conditions of production of activated carbon from bamboo *Bambusa vulgaris striata*. In the production of activated carbon, the response surface methodology was used with a central compound design to identify the factors temperature (T) and time (t) of activation that maximize the superficial area of the activated carbon, the activator agent used was vapor of water. The characterization of the obtained carbon under optimum conditions was made using ASTM norms and the chemical method of Bohem to identify superficial functional groups. The optimum conditions of activation of activated carbon are $T = 550.98$ °C and a $t = 122.76$ min, superficial area of 917 mg/g. Keeping in mind the optimum conditions of production of activated carbon by physical activation. The quality of the activated carbon has a major effect on its market value.

Keywords: optimization, activated carbon, adsorption, methodology of response surface, central compound design.

1 Introducción

El nombre de carbón activado se aplica a una serie de carbones porosos los cuales son sometidos a procesos de activación para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie

interna. Estas características son las responsables de sus propiedades adsorbentes, que son utilizadas ampliamente en muchas aplicaciones tanto en fase gas como en fase líquida. El carbón activado es un adsorbente variado ya que el tamaño y la distribución de sus poros en la estructura carbono-

* Autor para la correspondencia. E-mail: ypliego2002@yahoo.com
Tel./Fax (272) 725-70-56

sa pueden ser controlados al variar las condiciones de activación como temperatura y tiempo de activación así como el agente activante utilizado, esto se realiza para satisfacer las necesidades de la tecnología actual y futura (Marsh y col., 2001).

La elección del precursor es fundamentalmente una función de su disponibilidad, precio y pureza, pero el proceso de fabricación y la posible aplicación del producto final deben ser considerados. Los procesos de fabricación se pueden dividir en dos tipos: activación física (también llamada térmica) y activación química (Rodríguez y col., 1995). Como antecedente y de los análisis efectuados se hace una comparación con el trabajo de Choy y col. (2005), quienes utilizan activación química en la producción de carbón activado a partir de desechos de bambú. A diferencia de este trabajo que emplea activación física en la producción de carbón activado, igualmente a partir de bambú.

Existen varias clases de diseños desarrollados para la aproximación a una superficie de segundo orden, que no requieren tantas combinaciones de tratamientos como los diseños factoriales 3^k y donde cada uno de ellos posee ciertas características y propiedades. Entre estos están los diseños centrales compuestos propuestos por Box y Wilson (1951), que no crecen tanto como los diseños factoriales 3^k y los diseños Box-Behnken.

Los factores generalmente se codifican, ya que es más sencillo trabajar con los niveles de factores codificados que proporcionan un marco de trabajo uniforme para investigar los efectos de los factores.

En el diseño de experimentos, los diseños centrales compuestos emplean tratamientos factoriales 2^k con $2k$ combinaciones adicionales llamadas *puntos axiales* y n_c *puntos centrales*. Dependiendo de la elección de α (niveles) en los puntos axiales, el diseño central compuesto puede tener diferentes propiedades como *ortogonalidad*, *rotabilidad* y *uniformidad*. Se considera solamente una propiedad deseable en estos diseños consistente en que la varianza de los valores estimados sea constante en puntos equidistantes del centro del diseño. Esta propiedad llamada rotabilidad y se logra estableciendo $\alpha = (2^k)^{1/4}$ (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

Con este antecedente se identifica la aplicación del método de superficie de respuesta para la producción de carbones activados a partir de cáscara de coco, tratada con ácido fosfórico (Gratuito y col., 2008). Así como la obtención

de carbón activado, empleando el lignito para la optimización de las condiciones de procesamiento con K_2CO_3 , usando metodología de superficie de respuesta (Karacan y col., 2007).

El bambú tiene un 9.03 % de humedad, al carbonizarse el 63 % es materia volátil del cual el 35 % es carbón y lo demás es ceniza. Al iniciar la activación usando el bambú carbonizado se obtiene un 93 % de carbón activado y un 7 % de materia volátil, al lavar y tamizar el carbón se obtiene un 80 % de rendimiento debido a las pérdidas en estas etapas ya que el carbón contiene cenizas solubles en agua las cuales son eliminadas en el lavado. Utilizando la metodología de superficie de respuesta se obtienen condiciones óptimas de temperatura y tiempo en las cuales se genera la mayor área superficial para el carbón activado físicamente de bambú.

2 Metodología

2.1 Preparación de la materia prima

El acondicionamiento de la materia prima para la preparación de los carbones activados consistió en reducir de tamaño las cañas y secar el material reducido a temperatura ambiente. Se realiza el análisis próximo y elemental de la especie de bambú *Bambusa vulgaris striata*.

2.2 Carbonización

Se realizó la carbonización del bambú para eliminar las sustancias volátiles y dejar un residuo carbonoso que se sometió a la activación. Se introducen 100 g de bambú en varas dentro de una mufla horizontal durante 20 min a 400 °C.

2.3 Activación

Se hizo utilizando un diseño de experimentos 2^2 aumentado en cinco puntos centrales mostrado en la Tabla 1, teniendo como variables la temperatura y el tiempo de activación y como respuesta el área superficial. Se emplearon temperaturas de 450, 550 y 650 °C y el tiempo de activación de 60, 120 y 180 min, la respuesta obtenida es mediante la determinación del número de yodo.

La activación del carbón se inicia al llegar a cada una de las temperaturas indicadas en el diseño mostrado en la Tabla 1 durante el tiempo correspondiente se suministra vapor de agua,

Tabla 1. Nomenclatura y diseño de experimentos para la producción de carbones activados.

Variables		Nomenclatura
Temperatura (°C)	Tiempo (min)	
450	60	CAF1
450	180	CAF2
650	60	CAF3
650	180	CAF4
550	120	CAF5
550	120	CAF6
550	120	CAF7
550	120	CAF8
550	120	CAF9

una vez pasado el tiempo de activación se retira el suministro de vapor de agua, el carbón activado obtenido en cada corrida es lavado con agua destilada hervida para eliminar impurezas, se seca en una estufa durante 3 horas a 100 °C. Una vez seco el carbón es molido y tamizado con malla 150.

A cada uno de los carbones obtenidos en los experimentos mostrados en la Tabla 1 se les determinó número de yodo de acuerdo a la Norma ASTM D 4607-94, con los datos obtenidos se realizó un ajuste de datos a un modelo de primer orden; un análisis de varianza determinó que no existía una correlación adecuada entre los datos y el modelo empleado. Se trabajó con un modelo de segundo orden, para ello se realizaron cuatro combinaciones adicionales llamadas puntos axiales, considerando la propiedad de rotabilidad para el diseño compuesto central realizando un total de 13 experimentos, con estas nuevas condiciones se activó el carbón y se determinó el número de yodo. Se realizó un análisis de varianza para el modelo de segundo orden y se observó que el modelo se ajustaba a los datos y se procedió a buscar las condiciones óptimas de activación. Se optimizó la respuesta en base a la localización de los puntos estacionarios (extremos) del modelo empleado en su forma canónica.

Con las condiciones óptimas se obtuvo carbón activado, al cual se le determinó humedad utilizando la Norma ASTM D 2867-99, contenido de cenizas con la Norma ASTM D 2866-94, densidad aparente con la Norma ASTM D 2854-96, pH con la Norma ASTM D 3838-80, número de yodo con la Norma ASTM D 4607-94, la identificación de grupos funcionales oxigenados

Tabla 2. Caracterización de la materia prima

Parámetro (%)	Especie <i>Bambusa vulgaris striata</i>	Bambú Choy y col. (2005)
Cenizas*	1.46	3.9
Materia volátil*	73.88	80.6
Carbono fijo*	24.65	15.6

*Base seca

superficiales con el método de titulación de (Boehm, 1994).

3 Resultados y discusión

La especie de bambú *Bambusa vulgaris striata* fue la especie de bambú elegida para realizar la optimización de las condiciones de producción de carbón activado por ser la más adecuada para la obtención de carbón por sus características bromatológicas mostradas en la Tabla 2.

El contenido de materia volátil del bambú de *Bambusa vulgaris striata* es bajo comparado con el del bambú utilizado por Choy y col. (2005), esto hace que el bambú desarrolle una mayor porosidad mediante una adecuada activación, ya que al activarse se van dejando espacios vacíos de volumen disponibles para adsorber moléculas de tamaño menor al de estos poros.

El contenido de carbono fijo es mayor porque la estructura lignocelulósica se fracciona produciendo carbón, vapor de agua, bióxido de carbono y otros vapores productos de la pirólisis. El análisis lignocelulósico de la especie de bambú *Bambusa vulgaris striata* se muestra en la Tabla 3.

El análisis elemental para el bambú como materia virgen varía con respecto a cada especie como se encuentra en la Tabla 4.

Tabla 3. Análisis lignocelulósico de tres especies de bambú

Especie	Lignina (%)	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)
<i>Bambusa vulgaris striata</i>	24.567	31.545	43.122
<i>Guadua angustifolia</i>	28.218	18.212	47.125
<i>Bambusa oldhamii</i>	23.722	22.761	46.447

Tabla 4. Análisis elemental del bambú (materia virgen)

	<i>Bambusa vulgaris striata</i>	Bambú Choy y col. (2005)
C (%)	51.84	47.6
H (%)	5.18	6.5
N (%)	0.58	0.3
S (%)	0.05	0.3
O (%)	41.33	43.9

La mayor concentración corresponde a carbón y oxígeno mostrando un mayor contenido la especie *Bambusa vulgaris striata* utilizada en este trabajo, por ello es que este proceso para obtener carbón muestra un mayor rendimiento en el proceso de carbonización, obteniéndose 25 % de carbón a partir de bambú, el cual es más alto comparado con el rendimiento del bambú usado por (Choy y col., 2005), el cual fue del 22.5 %.

3.1 Análisis estadístico

El análisis estadístico es con el objeto de encontrar las mejores condiciones de activación para producir carbón activado físicamente. La región de exploración para ajustar el modelo de primer orden fue de 60 a 180 min de activación y de 450 a 650 °C. Para simplificar los cálculos, las variables independientes se codifican al intervalo (-1, 1) y se establecen 5 puntos centrales (0) para la evaluación del error experimental. Por lo tanto, ξ_1 representa la variable natural tiempo (min) y

ξ_2 la variable natural temperatura (°C), entonces las variables codificadas se obtienen con las Ecs. (1)-(2).

$$x_1 = \frac{\xi_1 - 120}{60} \tag{1}$$

$$x_2 = \frac{\xi_2 - 550}{100} \tag{2}$$

En la Tabla 5 se muestran los datos para las variables naturales y codificadas empleadas para ajustar el modelo de primer orden. Los experimentos fueron realizados de manera aleatoria.

Se trabajó con un modelo y un diseño de primer orden. Para comprobar si el modelo se ajusta a los datos, se realizó un análisis de varianza. El resultado obtenido para el término cuadrático puro fue de $F_o = 395.058$. Este valor resultó significativo para un nivel de confianza del 95 % criterio de rechazo $F_\alpha = 7.71$, por lo que el modelo de primer orden muestra una falta de ajuste y se decidió trabajar con un modelo de segundo orden.

Simultáneamente, se hicieron cuatro combinaciones adicionales llamadas puntos axiales. Estas combinaciones se realizaron aproximadamente al mismo tiempo que las nueve observaciones originales. Se consideró la propiedad de rotabilidad. El valor de α para este diseño es $\alpha = 1.414$.

Se activó el carbón de acuerdo a las cuatro condiciones adicionales. En la Tabla 6 se muestra el diseño compuesto central.

Tabla 5. Datos para ajustar el modelo de primer orden

Variables naturales		Variables codificadas		Respuesta
ξ_1 (min)	ξ_2 (°C)	x_1 (min)	x_2 (°C)	Y (mg/g)
60	450	-1	-1	227
60	650	-1	1	242
180	450	1	-1	333
180	650	1	1	355
120	550	0	0	923
120	550	0	0	836
120	550	0	0	964
120	550	0	0	923
120	550	0	0	916

Tabla 6. Diseño compuesto central

Variables naturales		Variables codificadas		Respuesta
ξ_1 (min)	ξ_2 (°C)	x_1 (min)	x_2 (°C)	Y (mg/g)
60	450	-1	-1	227
60	650	-1	1	242
180	450	1	-1	333
180	650	1	1	355
120	550	0	0	923
120	550	0	0	836
120	550	0	0	964
120	550	0	0	923
120	550	0	0	916
120	691.4	0	1.414	254
120	408.6	0	-1.414	377
204.84	550	1.414	0	282
35.16	550	-1.414	0	128

Tabla 7. Análisis de varianza para el modelo de segundo orden

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	Fo
Regresión	1271637.00	5	254327.50	52.63
Error	33828.77	7	4832.68	
Falta de ajuste	25091.57	3	8363.86	3.83
Error puro	8737.20	4	2184.30	
Total	1305465.77	12		

Se realizó el análisis de varianza para el modelo de segundo orden, los resultados se muestran en la Tabla 7, donde se observa que la falta de ajuste no es significativa y la regresión si lo es con un nivel de confianza del 95 %, comparando el resultado $F_0 = 395.058$ con $F_{0.05,1,4} = 7.71$ se tiene que $7.71 < 395.058$ por lo se considera que el modelo de segundo orden se aproxima adecuadamente a la superficie real.

El modelo de segundo orden se ajusta por mínimos cuadrados usando los datos codificados. El resultado se muestra en la Ec. (3).

$$\hat{y} = 912.3965 + 5.635601x_1 + 31.84931x_2 - 291.2369x_1^2 - 346.5036x_2^2 + 1.75x_1x_2 \quad (3)$$

Para asegurar que el modelo de segundo orden es adecuado, se llevó a cabo el análisis canónico. La gráfica de superficie de respuesta tridimensional se muestra en la Fig. 1.

La forma más conveniente de caracterizar la superficie de respuesta es en función del tiempo y temperatura, utilizando el programa NCSS 97 se obtuvo la gráfica mostrada en la Fig. 1 generada a partir del modelo ajustado Ec. (3), que al examinarla se determina que el punto óptimo es

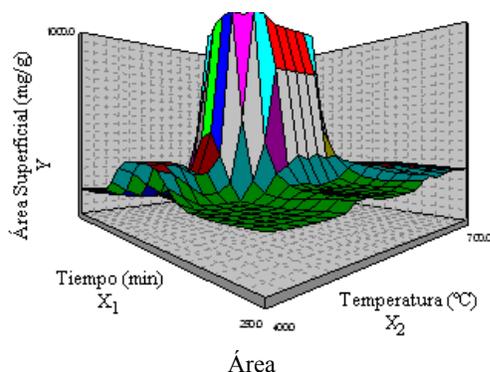


Fig. 1: Superficie de respuesta para el área superficial en función del tiempo (x_1) y temperatura (x_2), para los datos experimentales.

muy cercano a 550°C y 120 min de tiempo de activación, está dentro de la región de color rosa.

Se realizó un análisis canónico para el modelo de segundo orden obtenido para la activación de carbón mostrado en la Ec. (4).

$$b = \begin{bmatrix} 5.635601 \\ 31.84931 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -291.2369 & 0.875 \\ 0.875 & -346.5036 \end{bmatrix} \quad (4)$$

El punto estacionario es calculado con la Ec. (5).

$$\begin{aligned} x_0 &= -\frac{1}{2}B^{-1}b \\ &= -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -0.0034 & -0.0000 \\ -0.0000 & -0.0029 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5.63560 \\ 31.84931 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.0098 \\ 0.0460 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

$x_{1,0} = 0.0098$ y $x_{2,0} = 0.0460$. En términos de las variables naturales, el punto estacionario fue obtenido con las ecs. (6) y (7) para temperatura y tiempo respectivamente.

$$0.0098 = \frac{\xi_1 - 550}{100} \quad (6)$$

$$0.0460 = \frac{\xi_2 - 120}{60} \quad (7)$$

Obteniendo como resultado $\xi_1 = 550.98$ y $\xi_2 = 122.76$. Se determina que la respuesta predicha en el punto estacionario es $\hat{y} = 913.16$.

Es posible emplear el análisis canónico para caracterizar la superficie de respuesta. Los valores propios λ_1 y λ_2 son las raíces de la ecuación determinante, Ec. (8).

$$|B - \lambda I| = \begin{vmatrix} -291.2369 - \lambda & 0.875 \\ 0.875 & -346.5036 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (8)$$

que se reduce a la Ec. (9).

$$\lambda^2 + 637.7405\lambda + 100913.86 = 0 \quad (9)$$

Las raíces de esta ecuación cuadrática son $\lambda_1 = -291.2229$ y $\lambda_2 = -346.5176$. Por lo tanto, la

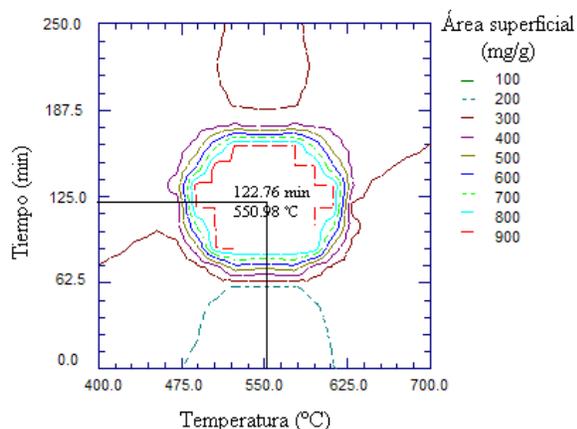


Fig. 2. Gráfica de contornos para el área superficial en función de tiempo y temperatura.

forma canónica del modelo ajustado se muestra en la Ec. (10).

$$\hat{y} = 913.1564 - 291.2229w_1^2 - 346.5176w_2^2 \quad (10)$$

El punto estacionario es máximo, ya que los eigenvalores (valores característicos) λ_1 y λ_2 son negativos, y el punto estacionario está dentro de la región de exploración.

Mediante la metodología de superficie de respuesta se obtuvieron las condiciones óptimas de activación las cuales son: temperatura de activación 550.98 °C y un tiempo de activación de 122.76 min, para una respuesta óptima de $Y = 913.16$ (número de Yodo, mg/g), los cuales están señalados en la Fig. 2.

En la gráfica de contornos (Fig. 2) se observó que la respuesta es un máximo, ya que el valor de la respuesta va aumentando hacia dentro, notándose que la región color rosa es en la cual se encuentra la respuesta máxima, marcando un punto central dentro de la región rosa se identifica que el tiempo de activación es de 125 min aproximadamente y la temperatura de 550 °C, en donde se encuentra la respuesta máxima.

Tabla 8. Caracterización física del CA bajo condiciones óptimas

Carbón activado (CA)	Densidad (g/cm ³)		Ceniza (%)	Porosidad (%)	Humedad (%)	Número de yodo (mg/g)
	real	aparente				
Físicamente	1.54	0.23	8.57	85.35	4.63	917

Tabla 9. Grupos funcionales superficiales oxigenados

Tipo de Grupos (% p)	Tipo de carbón	
	CAFO	CC
Grupos ácidos fuertes (carboxílicos)	0.021	0.000
Grupos ácidos débiles (lactonas)	0.109	1.989
Grupos ácidos débiles (fenoles)	3.299	2.013
Grupo ácidos más fuertes (carbonilos)	1.200	4.420
Grupo básicos fuertes	1.208	1.360
Grupos total	5.709	7.793

CAFO= Carbón activado físicamente

CC = Carbón activado comercial

3.2 Caracterización

Los resultados de la caracterización del carbón activado se muestran en la Tabla 8.

Se realizó una caracterización química determinando la cantidad de grupos superficiales en el carbón activado físicamente bajo condiciones óptimas (CAFO) así como en un carbón comercial (CC), utilizando el método de Bohem, los resultados se muestran en la Tabla 9.

El carbón activado obtenido mostró una densidad aparente parecida a la de un carbón comercial, un bajo contenido de cenizas, lo cual fue favorable, lo cual ayuda a que el rendimiento sea mayor comparado con (Choy y col., 2005), en el que se utilizó una activación química. El carbón activado bajo condiciones óptimas desarrolló una mayor porosidad lo cual indica una mejor área superficial, el bajo contenido de humedad fue favorable ya que ésta influye de manera negativa en la capacidad de adsorción, tiene un pH básico lo cual indicó que la composición de la superficie del carbón está compuesta principalmente de grupos superficiales básicos fuertes. Característica que le hace propicio para determinadas remociones.

Conclusiones

El rendimiento de carbón activado obtenido a través de carbón de *Bambusa vulgaris striata* es de 80 %, esto se debe a las variables de producción tales como; la temperatura de activación y el tiempo de activación. Mediante la metodología de superficie de respuesta se identificó el punto estacionario máximo, ya que los eigenvalores (valores característicos) y son negativos, y el punto estacionario está dentro de la región de exploración. Se detectó la presencia de curvatura por lo que fue necesario aumentar el experimento con 4 combinaciones adicionales para identificar las causas de curvatura y con el modelo ajustado se determinaron las condiciones óptimas de operación del proceso de activación.

Basado en la metodología de superficie se concluye que para maximizar el área superficial se debe utilizar una activación física. Las condiciones óptimas de activación de carbón activado físicamente fueron temperatura de activación 550.98 °C y un tiempo de activación de 122.76 min, para obtener una respuesta óptima de número de yodo de 917 m²/g, la cual es un área alta ya que las condiciones a las que se produjo son optimizadas; haciendole conveniente para la demanda del mercado que requiere carbón activado de calidad, lo cual no se hizo con el carbón obtenido del bambú usado en el trabajo de Choy y col. (2005), el cual desarrolla un área menor de 800 m²/g. Con lo mencionado, se cumplió el propósito de aplicar el bambú en la producción de carbón activado, bajo condiciones óptimas.

Nomenclatura

n_c	puntos centrales
ξ_1	variable natural tiempo, min
ξ_2	variable natural temperatura, °C
λ	calor latente de evaporación, kcal/kg
\bar{C}_p	calor específico de la mezcla gaseosa, kcal/kg°C
C_p	calor específico de la sustancia, kcal/kg°C
K	factores
n	niveles
Q	calor requerido, kcal/h
T_1	temperatura inicial, °C
T_2	temperatura final, °C
T_3	temperatura inicial del líquido, °C
T_4	temperatura de ebullición, °C

W	peso de la sustancia, kg/h
x_1	tiempo, min
x_2	temperatura, °C
\hat{y}	área superficial predicha, mg/g
Y	área superficial, m ²

Referencias

- ASTM D2854-96, (1999). Standard test method for apparent density of activated carbon.
- ASTM D2866-99, (1999). Standard test method for total ash content of activated carbon.
- ASTM D2867-99, (1999). Standard test method for moisture of activated carbon.
- ASTM D3838-80, (1999). Standard test method for pH of activated carbon.
- ASTM D4607-94, (1999). Standard test method for determination of iodine number of activated carbon.
- Bohem, H. P. (1994). Some aspects of the surface chemistry of carbon black and other carbons. *Carbon* 32(5), 759-769.
- Box, G.E. P. y Wilson, K. B. (1951). On experimental attainment of optimum conditions. *J.R.S.S. ser. B* 13, 1-45.
- Choy, K., Barford, J. y McKay, G. (2005). Production of activated carbon from bamboo scaffolding waste-process design, evaluation and sensitivity analysis. *Chemical Engineering Journal* 109, 147-165.
- Gratisito, M. y Panyathanmaporn, R.-A. (2008). Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology. *Bioresource Technology* 99 (11), 4887-4895.
- Gutiérrez, P. H., De la Vara, S. R. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. Editorial Mc Graw-Hill, México.
- Karacan, F., Ozden, U. y Karacan, S. (2007). Optimization of manufacturing conditions for activated carbon from Turkish lignite by chemical activation using response surface methodology. *Applied Thermal Engineering* 27(7), 1212-1218.

Marsh, H., Heintz, E.A. y Rodríguez-Reynoso, F. (2001). *Introduction to Carbon Technologies*. Universidad de Alicante, Alicante, España.

Montgomery, D. C. (2005). *Design and analysis of experiments*. Editorial John Wiley &

Sons, Inc, U.S.A.

Rodríguez- Reynoso, F., Molina-Sabino, M. y González, M. T. (1995). The use of steam and CO₂ as activating agents in the preparation of activated carbons. *Carbon* 33, 15-23.