



ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente  
Vol. 12, 2008. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

## ESTUDIO PRELIMINAR DE LA SINTESIS DE CARBONES ACTIVADOS DE BAMBÚ.

**Pedro Julio Villegas Aguilar<sup>1</sup>; Julio Omar Prieto García<sup>1</sup>, Bernardo Bucki Wasserman<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Licenciatura en Química, Facultad de Química - Farmacia, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, Cuba. Teléfono: (+53) 42 281100 - Fax: (+53) 42 281608 - Email: [pjiva@uclv.edu.cu](mailto:pjiva@uclv.edu.cu)

<sup>2</sup>Grupo de Estudios sobre Energía (GESE), Regional Académica Confluencia. UTN. Plaza Huinca, 8318, Neuquén, ARGENTINA. Teléfono: (+ 54) 299 4960510 - Email: [bbucki@uacf.utn.edu.ar](mailto:bbucki@uacf.utn.edu.ar)

**RESUMEN:** En este trabajo se estudia la factibilidad de obtener carbones activados por activación “física” del bambú con vapor de agua. Se estudió fundamentalmente la influencia de las condiciones de operación empleadas: temperatura (600-800°C), tiempo (de 60 a 120 min.) sobre las propiedades de los carbones, haciendo énfasis en las indicadores del poder adsorbente: índices de azul de metileno y de yodo empleando un diseño experimental 3<sup>2</sup> (9 experimentos). A todas las variables respuesta de interés se les realizó el correspondiente análisis estadístico que permitió definir la influencia de las variables independientes temperatura y tiempo sobre éstas. Obtúvose, que tanto el precursor como el agente activante estudiado resultaron adecuados para la preparación de carbones activados de elevadísima capacidad de adsorción; las mejores condiciones para preparar los adsorbentes deseados se correspondían con los ensayos 7. Se compararon propiedades mecánicas de este producto con otros obtenidos, resultando que el bambú clasifica como una madera semi-dura.

**Palabras claves:** Adsorción, carbones activados, activación física

### I. INTRODUCCIÓN

La producción de carbones activados se ha visto notablemente incrementada en las dos últimas décadas dadas sus amplias posibilidades de aplicación. Los carbones activados pueden obtenerse a partir de diversos precursores carbonosos.

La creciente demanda de estos adsorbentes ha incentivado la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas, de disponibilidad segura y bajo costo, centrándose la atención especialmente en los materiales renovables (Arriagada, 1999; Bahrton et colab., 1998; Villegas et colab., 2002).

Sin embargo, a excepción del coco, ha sido poco estudiada la factibilidad de preparación de carbones activados a partir de algunos recursos biomásicos de las zonas tropicales, con amplia disponibilidad y poca competencia en otros usos (Reinoso et colab., 2002). En el caso de Cuba uno de estos recursos de amplia disponibilidad es el bambú.

Enmarcado en estos antecedentes, (Arriagada, R.; García, R.; Cid, R., 2001), este trabajo se propone como objetivo, sistematizar los esfuerzos que se viene realizando en los últimos años en la búsqueda de alternativas para añadirle valor agregado a la biomasa derivada del bambú, para un desarrollo agrícola sustentable, que permita obtener carbones activados de elevada capacidad adsorptiva, a partir de un recurso renovable de amplia disponibilidad en Cuba. (Villegas Aguilar, P. J.; Medina Alvarez, B. F., 2002) y (Villegas Aguilar et colab., 2006).

### II. MATERIAL Y MÉTODO

El material empleado en las experiencias fue madera, obtenida del bambú, un recurso biomásico muy abundante en los campos de Cuba. En la Figura 1 puede apreciarse el material utilizado.



**Figura 1.** Muestras de bambú estudiadas.

Para la obtención de los carbones activados el material fue secado en estufa durante 24 horas a la temperatura de 120°C, cortado en pequeñas fracciones, hasta obtener un tamaño adecuado. El proceso empleado fue la activación física, para lo cual se tomó una masa conocida de los precursores y se pirólizó durante una hora a la temperatura de 500°C con un flujo de nitrógeno de 80 ml/min, para garantizar atmósfera inerte. El producto sólido de la pirólisis (char) se activó a diferentes temperaturas y tiempos de activación en un reactor de lecho fijo de acero inoxidable de 30 cm de longitud y 2.5 cm de diámetro, al cual se suministra vapor de agua a 1.5 ml/min. a través de un tubo de 0.8 cm de diámetro del mismo material conectado a la parte inferior del reactor, los gases producto de la reacción se evacuan por la parte superior del reactor a través de un conducto de diámetro similar.

Para evaluar la influencia simultánea de las condiciones operacionales (temperatura y tiempo) y optimizar con ello el proceso estudiado se empleó un diseño de experimentos factorial 3<sup>2</sup>.

La caracterización de los productos obtenidos se realizó mediante el análisis de la capacidad de adsorción a través de los índices de azul de metileno y de yodo según técnicas Standard. Los carbones activados obtenidos a partir del precursor estudiado se caracterizaron además, mediante la determinación de un parámetro que proporciona una medida indirecta de la resistencia mecánica al impacto y de la resistencia al desgaste, propiedad relacionada con la dureza del material. Se empleó un método similar al utilizado por Lovera, (Lovera, R. G.η, 2003) que implica el fraccionamiento de una masa inicial de material por la acción del impacto y fricción de 6 bolas de vidrio en un recipiente semiesférico de acero inoxidable. La masa fraccionada retenida en malla N° 35 (0.5 mm) se compara con la masa inicial y se toma como una medida porcentual de la resistencia mecánica de los carbones activados.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados de la caracterización del precursor así como la de los carbones activados obtenidos a partir del bambú permite la optimización de las condiciones operacionales a fin de obtener un producto con el máximo poder adsorbente mediante el auxilio del análisis estadístico correspondiente. En la Figura 2 se presenta una imagen de los productos sintetizados. Asimismo, en la Tabla 1 se presentan los resultados de los rendimientos, conversiones pH y densidades aparente durante al activación del bambú con vapor de agua. Puede apreciarse que como tendencia de la densidad aparente y el rendimiento disminuyen al aumentar el tiempo y la temperatura de carbonización.

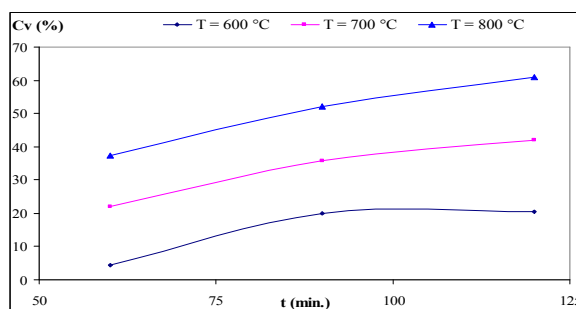


Figura 2. Muestras de carbón activado de bambú.

Muestra	T (°C)	t (min)	R (%)	Cv (%)	pH	d (g/ml)
Bambú	-	-	-	-	-	0.604
Char	500	-	31.0	-	-	0.270
Exp. 1	600	60	95.5	4.50	7.14	0.127
Exp. 2	600	90	80.0	20.0	7.53	0.123
Exp. 3	600	120	79.6	20.4	7.55	0.120
Exp. 4	700	60	78.0	22.0	7.68	0.125
Exp. 5	700	90	64.2	35.8	8.41	0.120
Exp. 6	700	120	58.0	42.0	8.70	0.119
Exp. 7	800	60	62.6	37.4	8.58	0.118
Exp. 8	800	90	48.0	52.0	9.68	0.115
Exp. 9	800	120	39.0	61.0	9.84	0.114

Tabla 1. Rendimientos (R), conversión (Cv), pH y densidades aparentes (d) del bambú y los carbones activados obtenidos mediante activación con vapor de agua (Exp.: Experimento).

A partir de los resultados reportados en la Tablas 1 se obtuvo la dependencia entre la conversión y el tiempo a las diferentes temperaturas de activación, la cual se muestra en la Figura 3. En la que puede apreciarse que la conversión incrementa con el tiempo de activación y es mayor al aumentar la temperatura. Este comportamiento se corresponde con lo reportado en la literatura para productos de naturaleza semejante y el mismo tiene una importancia decisiva en el desarrollo poroso de los adsorbentes (Heschel y Klose, 1995).



**Figura 3.** Dependencia entre la conversión y el tiempo a las diferentes temperaturas durante la activación del bambú con vapor de agua.

El estudio estadístico de la influencia de las variables independientes: T y t sobre el rendimiento (Tabla 1) se corresponde con la expresión (1) con un coeficiente de correlación  $R^2 = 0.9727$ .

$$\%R = 220.04 - 0.1758*(T) - 0.3306*(t) \quad (1)$$

Los dos coeficientes de este modelo resultaron significativos sobre la variable dependiente con un nivel de confianza del 99%. El estudio estadístico (correlación bilineal) de la incidencia de las variables independientes: temperatura (T) y tiempo (t) sobre la conversión reflejada en la Tabla 1, se corresponde con la expresión (2) con coeficiente de correlación  $R^2 = 0.9726$ .

$$\%Cv = -120.04 + 0.1758*(T) + 0.3306*(t) \quad (2)$$

En este caso, también se obtuvo que ambos coeficientes resultaran significativos sobre la variable dependiente estudiada con un intervalo de confianza del 99%. El estudio estadístico (correlación bilineal) de la incidencia de las variables independientes: T (temperatura) y t (tiempo) sobre las densidades aparentes (dap), que se reflejan en la Tabla 1 se corresponde con la expresión (3) con coeficiente de correlación  $R^2 = 0.8917$ .

$$dap = 0.4304 - 0.00035*(T) - 0.0009*(t) \quad (3)$$

Resultaron significativos sobre la variable dependiente estudiada la influencia tanto de la temperatura como del tiempo con intervalos de confianza del 99%.

El estudio de la influencia del pH (potencial hidrógeno) (Tabla 1) respecto a las variables independientes: T y t, se ajusta a la expresión (4) con coeficiente de correlación  $R^2 = 0.9425$ .

$$pH = 0.1406 + 0.0098*(T) + 0.0149*(t) \quad (4)$$

Se obtuvo que ambos coeficientes resultaron significativos con un 99% de significación.

Para evaluar la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos se analizó la adsorción tanto de yodo como de azul de metileno a partir de soluciones patrones de 0.10N y 0.15%, respectivamente.

Se ofrecen en la Tabla 2 los resultados de índices de yodo ( $I_y$ ) y de azul de metileno ( $I_a$ ) correspondiente a los carbones activados obtenidos mediante activación “física” del bambú con vapor de agua a las diferentes condiciones de operación.

Muestra	T (°C)	t (min)	$I_a$	$I_y$
Exp. 1	600	60	-	497
Exp. 2	600	90	-	499
Exp. 3	600	120	6	990
Exp. 4	700	60	9	994
Exp. 5	700	90	9	999
Exp. 6	700	120	18	1001
Exp. 7	800	60	20	1103
Exp. 8	800	90	9	938
Exp. 9	800	120	9	911

**Tabla 2.** Índices de azul de metileno ( $I_a$ ) y de yodo ( $I_y$ ) correspondiente a los carbones activados obtenidos mediante activación del bambú con vapor de agua.

En los ensayos de eficiencia de la adsorción se observó el producto preparado según el Exp. 7 es capaz de decolorar completamente la cantidad más alta de solución standard de azul de metileno al 0.15%, en cambio los restantes del experimento logran decolorar por debajo de ésta cantidad. Un estudio comparativo con un carbón comercial arrojó que este decoloraba 20 ml. La similitud con los materiales presentados en este trabajo avala la calidad de los productos obtenidos.

El comportamiento de los índices de yodo evidencia un crecimiento con la T (temperatura) y el t (tiempo), obteniéndose que el carbón activado obtenido según el Exp. 7 posee el mayor índice de yodo, lo cual implica que en éstos se ha desarrollado un mayor número de microporos. Este valor es superior al reportado para otros carbones activados que se usan en variadas aplicaciones lo que habla muy positivamente sobre la altísima calidad del producto obtenido según las condiciones del experimento mencionado.

El análisis estadístico (correlación bilineal) de la Tabla 2 señala que la variación de los índices de azul de metileno de los carbones activados preparados a partir del bambú, respecto a las variables independientes temperatura (T) y tiempo (t), se ajustaba a la expresión siguiente con coeficiente de correlación  $R^2=0.8786$ .

$$I_a = -57.94 + 0.0783*(T) + 0.1111*(t) \quad (5)$$

Del análisis se obtuvo que el coeficiente correspondiente al tiempo resultó significativo con un 95% de confianza, en cambio la temperatura resultó significativa sobre la variable dependiente estudiada con un nivel de confianza del 99%.

La valoración estadística de la variación de los índices de yodo, reportados en la Tabla 2, con las variables independientes T y t, se ajustaba a la expresión (6) con coeficiente de correlación  $R^2=0.8397$ :

$$I_y = -1957.44+3.4933*(T)+5.7667*(t) \quad (6)$$

Del análisis se obtuvo que el coeficiente correspondiente al tiempo resultara significativo con un 95% de confiabilidad, mientras que la temperatura tuvo una influencia significativa sobre la variable dependiente estudiada con un 99% de significación.

Se determinó la resistencia mecánica (Rm) de la muestra de interés, la cual se presenta en la Tabla 3, en la cual también se brindan los valores de otros recursos renovables tropicales determinados bajo condiciones similares. En la propia Tabla se ofrecen los valores de densidades reales o pesos específicos (d) de todas las muestras.

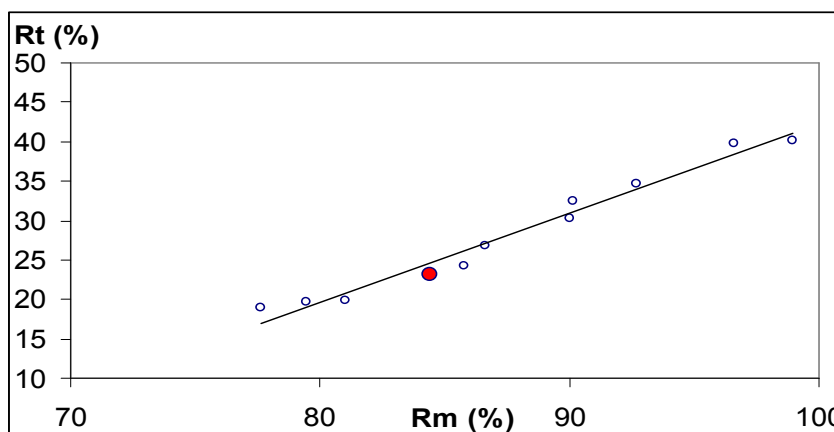
Muestra	Rm (%)	d (g/cm <sup>3</sup> )	Rt (%)
Quebracho colorado ( <i>schinosis balansae</i> )	98.97	1.2	40.2
Cáscaras de coco ( <i>cocos nucifera</i> )	96.63	1.15	39.8
Teca ( <i>tectona grandis</i> )	92.72	1.1	34.6
Casuarina ( <i>casuarina cunninghamiana</i> )	90.15	0.9	32.5
Eucalipto ( <i>eucalyptus robusta</i> )	90	0.8	30.2
Marabú ( <i>leptoptilus crumeniferus</i> )	86.63	0.78	26.8
Algarrobo Blanco ( <i>Prosopis alba</i> )	85.76	0.74	24.3
Bambú	84.42	0.604	23.2
Caoba ( <i>jacaranda semiserrata</i> )	81.04	0.56	19.8
Pino ( <i>araucaria angustifolia</i> )	79.47	0.5	19.7
Cedro ( <i>cedrela balansae</i> )	77.64	0.43	18.9

**Tabla 3.** Resistencia mecánica (Rm), densidad (d) de diferentes recursos renovables y rendimiento total durante el proceso de síntesis de carbones activados.

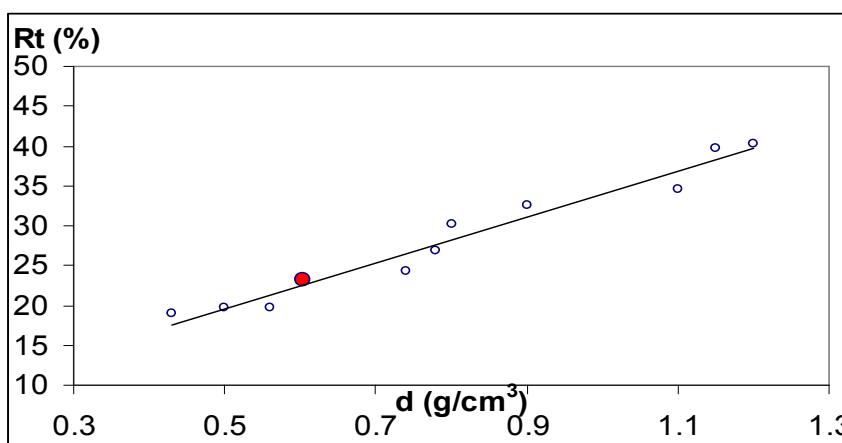
En la Tabla 3 puede apreciarse que los valores difieren significativamente para prácticamente todas las muestras, correspondiendo los valores más altos al Quebracho Colorado y las Cáscaras de Coco, lo que se concuerda con la elevada dureza de éstos materiales, obteniéndose el menor valor para el Cedro. La variación de estos valores se debe a que, los materiales de origen vegetal inevitablemente se diferencian en su composición estructural y resistencia mecánica (Villegas y col, 2006). La resistencia mecánica es de gran utilidad a la hora de evaluar las diferencias entre las reactividades de estos productos, ya que las materias primas de mayor dureza o consistencia dificultan la difusión de los agentes oxidantes en su estructura y por tanto las energías necesarias para favorecer las reacciones de activación son superiores. Los valores encontrados para el bambú a los de las maderas semi-duras, lo que hace suponer que su morfología le concede una elevada consistencia a esta nueva materia prima que facilitan su uso en procesos industriales donde se requiera una elevada cantidad de adsorbente como la depuración de agua para consumo humano.

En las Figuras 4 y 5 que se presentan seguidamente, se ilustra la dependencia del rendimiento total del proceso de síntesis de los carbones activados, calculado a partir de los rendimientos de los procesos de pirólisis y activación y las propiedades

mecánicas resistencia mecánica y densidad del sustrato, en los que puede apreciarse la clara dependencia entre dichas propiedades mecánicas y la factibilidad económica de las síntesis evaluadas. Se señala con punto rojo los valores correspondientes al bambú.



**Figura 4.** Dependencia entre el rendimiento total (Rt) durante la síntesis de carbones activados y la resistencia mecánica (Rm) de algunas materias primas empleadas como precursores de dichos adsorbentes.



**Figura 4.** Dependencia entre el rendimiento total (Rt) durante la síntesis de carbones activados y la densidad real (d) de algunas sustancias empleadas como materias primas para la producción de dichos adsorbentes.

A partir de las figuras 4 y 5 se derivan correlaciones útiles que sirven de base a científicos que estudian la conversión de los materiales, ya que ellas permiten inferir las posibles características de los adsorbentes a obtener a partir de su caracterización preliminar, éstas vienen dadas por las expresiones 7 y 8 cuyos coeficientes de correlación son 0.9736 y 0.9619, respectivamente, los que avalan la calidad del estudio realizado.

$$R_t = 1.1248R_m - 70.336 \quad (7)$$

$$R_t = 28.843d + 5.2017 \quad (8)$$

## V. CONCLUSIONES

- El estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados señala que el producto sólido de la pirólisis del bambú puede ser utilizado, aplicando el método de activación “física” con vapor de agua, con este propósito.
- Las condiciones de operación empleadas en la activación ejercen una marcada influencia sobre la capacidad de adsorción de los productos obtenidos.
- El mejor resultado se obtuvo para el experimento 7 que se realizó a una temperatura de 800° C y tiempo de activación de 60 min., respectivamente con buenos rendimientos. Este producto resultó tener propiedades adsorbentes excelentes.
- El análisis estadístico (correlación bilineal) realizado permitió determinar las ecuaciones que describían la influencia entre las condiciones de operación estudiadas (variables independientes) y las diferentes variables

- respuesta bajo análisis - densidad aparente (dap), rendimiento ( $\eta$ ), conversión, pH (potencial hidrógeno) y propiedades adsorbentes, estableciéndose la significación de los coeficientes correspondientes en cada caso.
- El bambú es un precursor adecuado para la síntesis de adsorbentes con moderadas propiedades mecánicas, las que se corresponden con las de las maderas semi-duras.

## VI. REFERENCIAS

Arriagada, R.; García, R.; Saavedra, G. (1999) "Carbones activados de origen lignocelulósico". *Informe de Investigaciones*. Departamento de Físico - Química Universidad de Concepción, Chile.

Arriagada, R.; García, R.; Cid, R. (2001) Retención de Hg(II) y Cr(VI) en carbones activados de origen lignocelulósico". *Informe de Investigaciones*. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción. Chile (2002).

Basso, M. C.; Cerella, E. G.; Cukierman, A. L. (2001) "Remoción de Cd (II) de soluciones acuosas mediante carbón activado preparado a partir de caña" *Revista Argentina Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5.

Barthon, A. (1998) "Preparation of Activated Carbon from Wood of Fast Growing Tree Species" *Mc. Sc. Thesis*, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Lovera R. G. (2003) "Carbones Activados", *Resúmenes III Curso Taller Iberoamericano "Adsorbentes para la protección ambiental"*, La Plata, Argentina, pp. 79-90.

Reinoso, R. F., Sabio M. M. (2002) "El carbón activado en procesos de descontaminación". Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España,.

Heschel W.; Klose, E. (1995) "On the Suitability of Agricultural By-product for the Manufacture of Granular Activated Carbon". *Fuel*, 74, 12, 1787-1791.

Villegas Aguilar, P. J.; Medina Alvarez, B. F. (2002) Production of Granular Activated Carbon by Controlled Gasification of some Agricultural Resources with Steam Water. *Proceeding of the Sixth APISCEU, organized by the Institute of Engineering Thermo-physics, Chinese Academy of Sciences and the Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia*.

Villegas Aguilar, P. J.; Cavalieri, A., Camerucci, A.; Quintana Puchol, R.; Bucki Wasserman, B.; Dévora Rodríguez, Y. (2006). "Estudio de las transformaciones morfológicas durante la termoconversión de biomásas tropicales". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (ISSN 0329-5184)*, Vol. 10,

## ABSTRACT

Obtainment of activated carbons by "physical activation" of bamboo wood with steam, is studied. The performance of the different operation conditions that we use, was the following: temperature (from 600 to 800°C) and time (from 60 to 120 min.) and the properties of the different carbons was studied, making emphasis in those that are indicative of the adsorbent power. Methylene blue and iodine index using an experimental design  $3^2$  (nine experiences in each case). For all the variable answer of interest corresponding statistical analysis (bilineal correlation) to define the effectiveness of the independent variables (T) temperature and (t) time on these were carried out. Finally, was obtained the precursor such as the activating agent studied was appropriate for the preparation of activated carbons with very high adsorption capacity; the best conditions to prepare the adsorbents with the conditions used in the experience 7. Some mechanical properties of this product were compared with those of others. Bamboo can classify as semi-hard wood

**Keywords:** Adsorption, activated carbons, physical activation