

OBTENCION DE BIOCOMBUSTIBLES Y CARBON ACTIVADO A PARTIR DE UN PRECURSOR RENOVABLE

M.R. Kim¹, E. L. Buonomo¹, A.L. Cukierman^{1,2}, P.R. Bonelli¹

Programa de Investigación y Desarrollo de Fuentes Alternativas de Materias Primas y Energía (PINMATE) - Departamento de Industrias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Ciudad Universitaria, (C1428BGA) Buenos Aires, Argentina.
Departamento de Tecnología Farmacéutica. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad de Buenos Aires. Junín 956. (C1113AAD) Buenos Aires. Argentina. Tel.: 4576-3383. E-mail: pablo@di.fcen.uba.ar

RESUMEN:

Se determinan las características fisicoquímicas del biocombustible sólido (BCS) producido por pirólisis convencional de aserrín de álamo (*Populus deltoide*) a dos temperaturas (600 °C y 800 °C) con la finalidad de evaluar su potencial utilización. De acuerdo a estándares internacionales, los BCSs obtenidos a ambas temperaturas podrían emplearse como biocombustibles, para la fabricación de briquetas o para su empleo en la industria siderúrgica. Las características texturales de los BCSs generados también indican que podrían utilizarse como adsorbentes rudimentarios de bajo costo y/o restauradores de la calidad del suelo. Por otra parte, se comparan las características texturales del BCS obtenido a la menor temperatura con las determinadas para el generado a partir de la pirólisis del precursor previamente impregnado con una solución de ácido fosfórico, para las mismas condiciones de operación. El pretratamiento ácido conduce a incrementar el rendimiento del producto resultante, que presenta una estructura porosa altamente desarrollada y cuyas características texturales son similares a las de carbones activados comerciales de buena calidad.

Palabras clave: Biocombustible, Carbón activado, Energía renovable, Biomasa

INTRODUCCION

La madera de álamo (*Populus*) tiene gran importancia comercial, generándose, por consiguiente, abundantes cantidades de aserrín que resultan de su utilización. Como madera aserrada se utiliza en ebanistería y en estructuras ligeras. Otros usos incluyen la fabricación de tableros, elementos de muebles, cajas para alimentación, embalajes y pasta de papel. Existen distintas especies y variedades de álamo que crecen espontáneamente, si bien son también numerosas las plantaciones que se realizan para la obtención de su madera. El álamo representa una interesante fuente de energía de corta rotación y una de las especies más productivas, que está recibiendo creciente atención a nivel internacional (Cantarella et al., 2004). Entre las diferentes especies de álamo, *Populus deltoide* es una de las más importantes en las actividades agro-forestales en varias regiones del mundo, y también una de las más populares y abundantes en nuestro país, debido a su corta rotación, alto rendimiento, buen posicionamiento en el mercado maderero, y, entre otros factores, a su alta velocidad de adquisición de nutrientes (Chaturvedi y Das, 2005; Swamy et al., 2006). La intensa utilización de esta madera trae aparejada la acumulación de grandes cantidades de aserrín, generado como subproducto de su industrialización, con el consecuente impacto negativo sobre el ambiente, especialmente cuando se recurre al quemado a "cielo abierto" para su eliminación. Por consiguiente, el estudio de la conversión del aserrín de álamo mediante el proceso de pirólisis resulta de interés por la potencialidad de los productos resultantes.

La pirólisis es un proceso de degradación térmica en atmósfera exenta de oxígeno o con un suministro restringido de éste (Bridgwater, 1999; McKendry, 2002). El producto sólido resultante de este proceso (char) con potencial como biocombustible, también conocido como carbón vegetal o de leña, se produce mediante pirólisis convencional empleando generalmente especies de maderas duras, cuyo crecimiento es lento. Por esta razón y, además, debido a que el char aún representa un combustible importante, doméstico e industrial, en varias regiones del mundo, en los últimos años, se ha intensificado la búsqueda de nuevas materias primas, abundantes, fácilmente renovables en períodos cortos y más amigables desde el punto de vista medioambiental para su producción. Algunas mejoras en las tecnologías de producción han renovado el interés en su utilización debido a que como combustible renovable, el carbón vegetal no contiene azufre ni mercurio, posee muy poco nitrógeno y cenizas, y es altamente reactivo y fácil de transportar y almacenar. (Antal y Grönli, 2003).

En este contexto, el presente trabajo aborda la caracterización de fisicoquímica de los BCSs producidos por pirólisis convencional de aserrín de madera de álamo a 600 °C y 800 °C, con la finalidad de analizar sus potencial utilización. Por otra parte, dado que la pirólisis de algunas biomásas lignocelulósicas pretratadas con ácido fosfórico ha demostrado conducir a productos sólidos con estructuras porosas altamente desarrolladas, se determinan también las características texturales del BCS producido a partir del aserrín impregnado, a la menor temperatura de pirólisis.

MATERIALES Y METODOS

Se empleó aserrín de madera de álamo, correspondiente a la especie *Populus deltoide*, suministrado por un aserradero ubicado en la zona del Delta del Río Paraná. Las muestras se molieron y tamizaron, reservándose la fracción de diámetros de

partícula comprendida entre 0.5 y 1 mm para la obtención de los BCSs; las fracciones de menor diámetro de partícula se destinaron a los ensayos de caracterización fisicoquímica y al análisis termogravimétrico.

Se llevaron a cabo ensayos de pirólisis convencional en un equipo de lecho fijo escala banco para la obtención del BCS. Con este fin, muestras de aserrín, previamente pesadas, se sometieron a pirólisis, bajo flujo de N₂ (100 ml/min), en un reactor de lecho fijo de acero inoxidable, calentado externamente mediante un horno eléctrico empleando un controlador de temperatura (Yokogawa UT350 basado en microprocesador) para programar y regular la velocidad de calentamiento, la temperatura y el tiempo de calentamiento. El tratamiento térmico aplicado consistió en el calentamiento de las muestras desde temperatura ambiente, a una velocidad de 10 °C/min, hasta una temperatura final de 600 °C u 800 °C manteniendo ésta constante durante una hora. A continuación, las muestras de BCS obtenidas se enfriaron hasta temperatura ambiente manteniendo el flujo de N₂, se pesaron y se almacenaron en recipientes herméticos para su posterior caracterización. Las muestras de BCS resultantes de este proceso se designan como BC600 y BC800, según su temperatura final de tratamiento térmico.

Por otra parte, se trataron muestras de aserrín de álamo, previamente pesadas, con una solución de ácido fosfórico (grado analítico) 50 % p/p. Se agregó una cantidad de ácido adecuada a fin de lograr la impregnación de toda la masa de precursor y se dejó en reposo durante 3 horas. Las muestras impregnadas se pirolizaron en el mismo equipo hasta temperatura de 600 °C, siguiendo un procedimiento similar al descrito anteriormente. Con posterioridad al enfriamiento, el producto sólido resultante se lavó con agua destilada caliente hasta alcanzar pH neutro en las aguas de lavado, a fin de asegurar la remoción total de ácido remanente. Finalmente, se procedió a su secado en estufa, a 100 °C, hasta peso constante. El producto sólido obtenido de este proceso se designa como AC600.

Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica del aserrín de álamo y de los distintos productos sólidos resultantes de la pirólisis. Se determinó el contenido de los principales biopolímeros constituyentes del aserrín holocelulosa (celulosa + hemicelulosa) y lignina, y de compuestos extraíbles en solvente, según los métodos standard TAPPI T204om-88 y T222om88. El análisis próximo del aserrín y de los BCSs BC600 y BC800 se llevó a cabo siguiendo métodos ASTM, y la composición elemental se determinó empleando un instrumento Carlo Erba 1103. El poder calorífico superior (PCS) de estas muestras se determinó empleando una bomba calorimétrica Parr 1341 EE.

Las características texturales del aserrín de álamo y de los BCSs se evaluaron a partir de la determinación de las isothermas de adsorción de nitrógeno a -196 °C empleando un sortómetro Micromeritics Gemini 2360. Previamente a la realización de estos ensayos, se procedió al desgasado de las muestras durante 12 horas bajo vacío, a 120 °C. En base a estas determinaciones, se obtuvo información acerca del área superficial específica, y del radio promedio de poros, macro (> 50 nm), meso (2 -50 nm) y microporos (< 2 nm) del aserrín y de los BCSs.

A fin de analizar la influencia de la impregnación ácida sobre el comportamiento térmico del aserrín sometido a pirólisis, se llevaron a cabo ensayos mediante termogravimetría no-isotérmica partiendo de muestras de aserrín impregnadas y sin impregnar. Estos ensayos se llevaron a cabo utilizando una balanza termogravimétrica Netzch STA 409 equipada con un dispositivo de control de flujo de N₂ y sistema de adquisición de datos. Las condiciones experimentales empleadas fueron: masa de 10 mg, velocidad de calentamiento de 10 °C/min, rango de temperaturas de 20 a 500 °C, caudal de N₂ de 100 ml/min.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1, se presentan los resultados de los análisis próximo y elemental para las muestras de aserrín de álamo y los BCSs. También se incluyen en la tabla el contenido de los principales biopolímeros constituyentes del aserrín y el poder calorífico superior (PCS) de todas las muestras.

Los contenidos de volátiles, cenizas, carbono fijo y composición elemental del aserrín se encuentran en el rango de los encontrados en la literatura para otros materiales lignocelulósicos (Antal et al., 2000, Antal y Grönlí, 2003, Guerrero et al., 2005.). La pirólisis provoca cambios sustanciales en la composición del aserrín, más pronunciados a mayores temperaturas, que se reflejan en las características químicas de los BCSs obtenidos. Estas variaciones siguen la tendencia general informada en la literatura (Bonelli et al., 2003, Basso et al., 2003). El desprendimiento de volátiles conduce a incrementos del contenido % C y del material inorgánico (cenizas) y a disminuciones en los %H y %O de las muestras. Estos resultan de la liberación de vapor de agua, óxidos de carbono, hidrógeno e hidrocarburos volátiles con la evolución del proceso, enriqueciendo las muestras como bio-combustibles, tal como puede inferirse a partir de la comparación de los valores del poder calorífico determinados para el aserrín y los correspondientes BCSs.

Muestra	Aserrín de álamo	BC600	BC800
Análisis próximo ^(a)			
Volátiles (%)	71.4	8.9	7.2
Cenizas (%)	0.5	3.5	4.2
Carbono Fijo (%) ^(c)	28.1	87.6	88.4
Análisis elemental ^(b)	48.3	84.7	89.6
%C	5.8	2.3	0.8
%H	0.1	0.2	0.3
%N	-	-	-
%S	45.8	12.8	9.3

%O ^(c)			
% Lignina ^(d)	30	-	-
% Holocelulosa ^(d)	70	-	-
PCS (MJ/kg)	18.1	29.3	29.2

(a) base seca (b) base seca y libre de cenizas (c) estimado por diferencia (d) base seca y libre de extractivos

Tabla 1: Características químicas y poder calorífico del aserrín de álamo y de los biocombustibles generados mediante pirólisis convencional a 600 °C (BC600) y 800 °C (BC800).

Los valores de PCS de los BCSs obtenidos a partir de este precursor son similares a los que caracterizan a los obtenidos a partir de especies de crecimiento lento y superiores a los BCSs derivados de algunos cultivos energéticos (Bonelli et al., 2007). El PCS del aserrín y de los BCSs, determinado experimentalmente, se corroboró aplicando una correlación unificada multivariable de la literatura (Channiwala y Parikh, 2002), que considera la composición elemental de cada muestra y su contenido de cenizas. Se encontró una excelente concordancia entre los valores experimentales y los estimados por la correlación.

De acuerdo a estándares internacionales, informados en la literatura (Zandersons et al., 1999, Gonzalez et al., 2005), el contenido de carbono fijo requerido para el carbón a utilizarse en la fabricación de briquetas, antes de la aglomeración, debe ser de 76 ± 3 % (p/p) para las briquetas categoría “A” y 69 ± 3 % (p/p) para las de categoría “B”. Ambos chars, BC600 y BC800, cumplirían con estos requisitos. Otro criterio adoptado como índice de buena calidad de biocombustibles tiene en cuenta el contenido de volátiles del char según su posterior aplicación. Para uso doméstico un contenido de volátiles entre 20% y 30 % resulta aceptable, mientras que este contenido se restringe a 10 % -15 % si se desea utilizar estos carbones en procesos siderúrgicos. Ambos BCSs, BC600 y BC800, podrían ser utilizados en estas aplicaciones.

Las Figuras 1 y 2 muestran las isotermas de adsorción de N₂ del aserrín, de los BCSs derivados de la pirólisis del precursor sin tratar (BC600 y BC800), y del BCS AC600 obtenido como resultado de la carbonización del precursor impregnado con solución ácida. En estas figuras, se representan los volúmenes adsorbidos por unidad de masa de adsorbente (V_{ads}), en condiciones normales de temperatura y presión, en función de las presiones relativas (P/P₀) siendo P y P₀ la presión de equilibrio y de saturación del adsorbato, respectivamente.

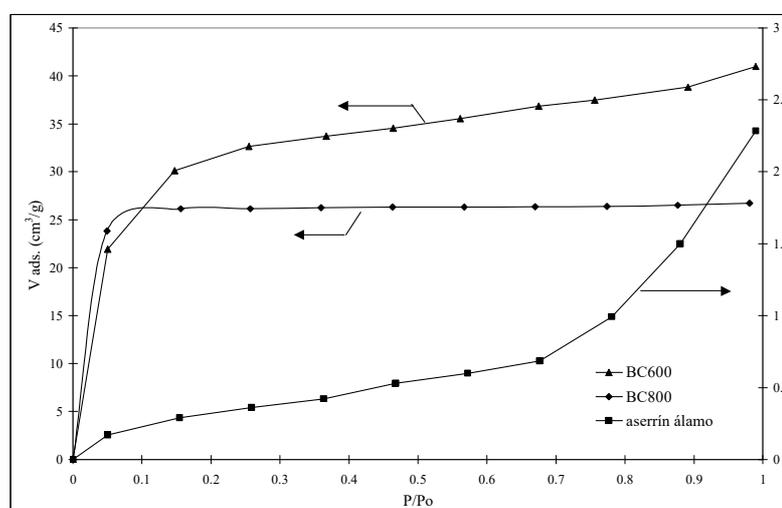


Figura 1: Isotermas de adsorción de N₂ a -196 °C para el aserrín de álamo, y los BCSs obtenidos de la pirólisis a 600 °C (BC600) y 800 °C (BC800).

Como puede apreciarse en la Figura 1, los volúmenes de N₂ adsorbidos por los BCSs son notablemente mayores que los determinados para el aserrín de álamo, en todo el rango de presiones relativas. Estos resultados indican que la pirólisis promueve la formación de poros y/o la apertura de poros preexistentes, facilitando el acceso del N₂.

La forma de las isotermas permite también obtener un primer indicio del tipo de poros prevaletientes en las muestras. La isoterma obtenida para el aserrín presenta características intermedias entre las de tipo I y II, de acuerdo a la clasificación IUPAC. La pirólisis promueve modificaciones apreciables en la forma de las isotermas, que dependen de la temperatura empleada, como se evidencia en las determinadas para los BCSs generados. Para el BC600, el incremento en los volúmenes de N₂ a presiones relativas superiores a 0.8 señala la presencia de mesoporos (Blanco Castro et al., 2000). Asimismo, el extenso “plateau” que presenta la isoterma del BCS BC800 es característico de las isotermas de tipo I y sugiere que la pirólisis del aserrín a la temperatura más alta conduce a un importante desarrollo de microporos.

La comparación de las isothermas de los BCSs resultantes de la pirólisis del aserrín sin tratar e impregnado con solución ácida a 600 °C (Figura 2), BC600 y AC600, indica un marcado incremento en el desarrollo de porosidad en el caso de la muestra pretratada con ácido. Además, puede apreciarse un cambio notable en la forma de la isoterma, que sugiere que la impregnación con ácido conduce al desarrollo de poros de mayores dimensiones.

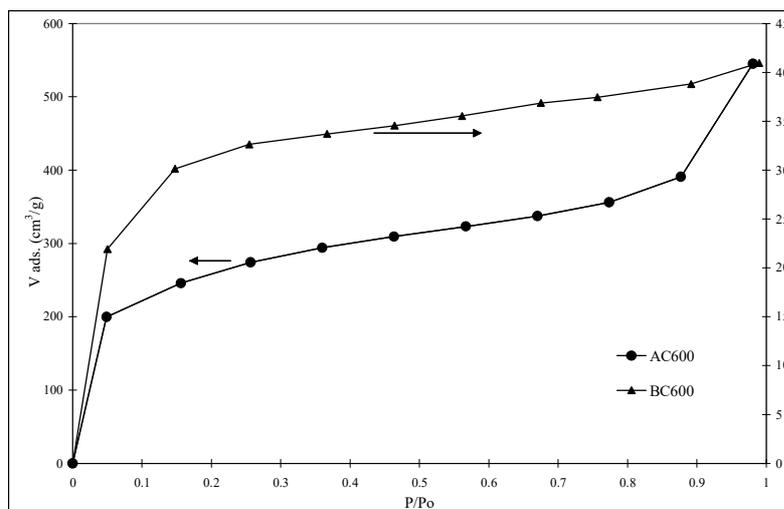


Figura 2: Comparación de las isotermas de adsorción de los BCSs obtenidos a partir del aserrín sin tratar (BC600) e impregnado con solución ácida (AC600) a 600 °C.

Se aplicó el modelo de Brunauer Emmet y Teller (BET) a las isotermas para la evaluación de las áreas superficiales específicas SBET. El volumen total de poros VTp se determinó como la cantidad de N₂ adsorbido a la máxima presión relativa (P/Po = 0.99). El radio medio de poro (R) se calculó como $R = 2 \text{ VTp} / \text{SBET}$. Los resultados obtenidos para todas las muestras se informan en la Tabla 2.

Muestra / Parámetro	Aserrín de álamo	BC600	BC800	AC600
Area BET (m ² /g)	1.3	104	83	895
Volumen total de poros (cm ³ /g)	0.004	0.063	0.041	0.840
Radio medio de poro (nm)	6.1	1.2	1.0	1.9

Tabla 2: Características texturales del aserrín y los BCSs resultantes de la pirólisis de aserrín sin tratar e impregnado con ácido.

Los BCSs BC600 y BC800 presentan valores de SBET y VTp marcadamente superiores a los correspondientes al aserrín de álamo y una disminución del radio medio de poros. Estos resultados indican un pronunciado desarrollo de estructuras relativamente más microporosas. La disminución del SBET y VTp para estos BCSs al incrementar la temperatura puede atribuirse a dos efectos competitivos: el desarrollo de porosidad, debida a la remoción de volátiles, y el colapso entre poros vecinos, como consecuencia de su ensanchamiento. A la temperatura inferior, el primer efecto parece predominante, mientras que al incrementar la temperatura, el colapso entre poros vecinos resultaría prevaleciente debido, además, a la menor liberación de volátiles. Los valores SBET y VTp correspondientes al BCS AC600 superan prácticamente en un orden de magnitud a las de los BCSs resultantes del aserrín sin tratar, evidenciando, además, un notable incremento en el radio promedio de poros.

Las propiedades texturales de BC600 y BC800 indican que éstos también podrían emplearse como adsorbentes rudimentarios de bajo costo y/o como restauradores de la calidad del suelo a fin de incrementar la permeabilidad y capacidad de retención de agua (Shinogi y Kanri, 2003). El notable incremento del área superficial específica y del volumen total de poros del BCS AC600 revela la influencia crucial del pretratamiento ácido sobre el desarrollo de la estructura porosa resultante. Estas propiedades texturales son similares a las que caracterizan a carbones activados comerciales de buena calidad.

Las Figuras 3 y 4 muestran las curvas termogravimétricas para el aserrín sin tratar e impregnado con solución ácida, respectivamente. En éstas, se representa la fracción de masa relativa (w) y los perfiles de velocidad de pirólisis en función de la temperatura (T).

La pérdida de masa para el aserrín sin tratar comienza alrededor de los 250 °C y prosigue con un descenso abrupto de masa entre 300 °C y 350 °C (Figura 3). Para la muestra pretratada con ácido, la pérdida de masa ocurre en forma gradual en todo el rango de temperaturas, incluyendo la región de temperaturas inferiores a 250 °C, donde no se registra pérdida de masa para el aserrín sin tratar (Figura 4). A la máxima temperatura, la muestra impregnada presenta una fracción másica residual

cercana a 0.7, mientras que el aserrín sin tratar alcanza una $w = 0.3$. Esto indica que la pirólisis del aserrín impregnado conduce además a mayores rendimientos del sólido.

La máxima velocidad de pirólisis ocurre a 350 °C para el aserrín sin tratar, desplazándose hacia 190 °C para el aserrín impregnado con ácido, que además presenta un valor de menor magnitud. Aparentemente, el ácido actuaría como catalizador promoviendo las reacciones de ruptura de enlaces como deshidratación y depolimerización y la redistribución de los fragmentos de los biopolímeros constituyentes del aserrín, favoreciendo la conversión de compuestos alifáticos en aromáticos a temperaturas más bajas respecto a la pirólisis del aserrín sin tratar incrementándose, por consiguiente, el rendimiento de producto sólido. Un comportamiento análogo se ha informado en la literatura para otra biomasa lignocelulósica (Vernersson et al 2002, Basso et al. 2005).

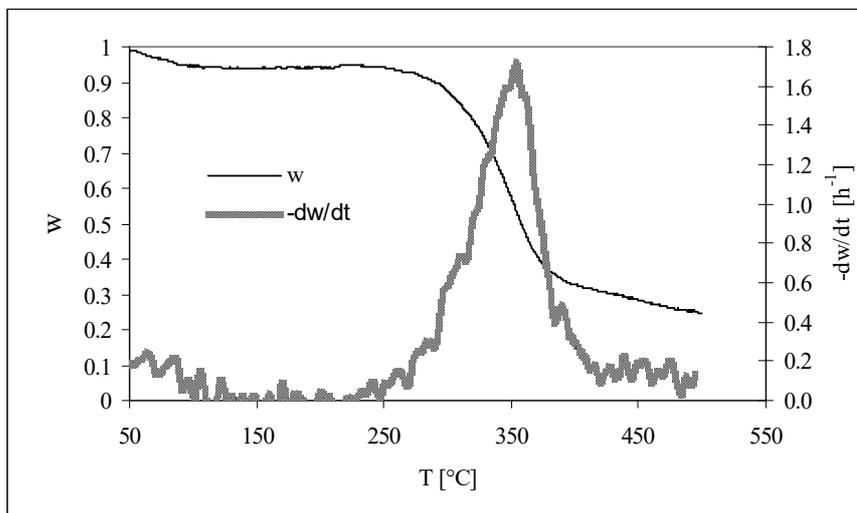


Figura 3: Termograma dinámico y perfil de velocidad de degradación ($-dw/dt$) para la pirólisis de aserrín de álamo sin tratar.

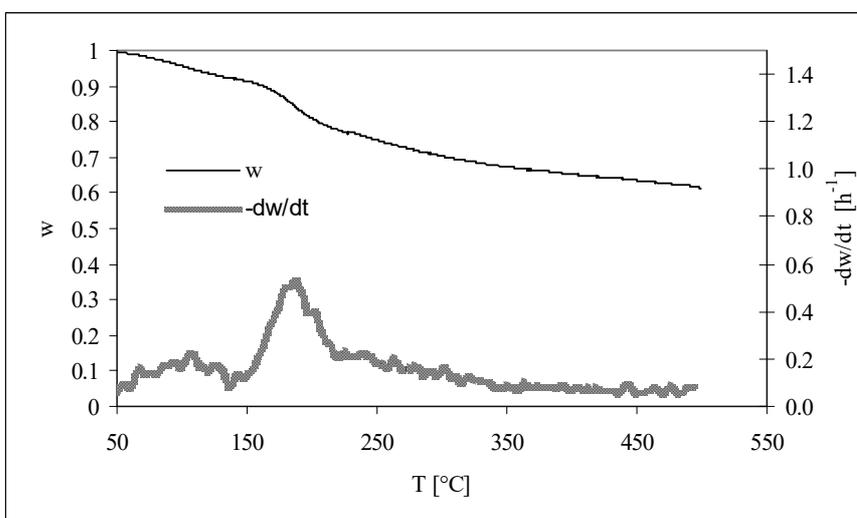


Figura 4: Termograma dinámico y perfil de velocidad de degradación ($-dw/dt$) para la pirólisis de aserrín de álamo impregnado con ácido fosfórico

CONCLUSIONES

Se determinaron las características químicas, térmicas y texturales de los BCSs generados por pirólisis convencional de aserrín de álamo a 600 °C y 800 °C, a fin de examinar potenciales aplicaciones. Los resultados obtenidos indican su posible utilización como biocombustibles para uso doméstico, fabricación de briquetas y/o en el sector siderúrgico. Asimismo, estos BCSs presentan potencial para su empleo como adsorbentes rudimentarios de bajo costo y/o como restauradores de la calidad del suelo a fin de mejorar sus propiedades físicas.

Por otra parte, la pirólisis del aserrín impregnado con una solución de ácido fosfórico, a 600 °C, conduce a la obtención de un BCS con una estructura porosa altamente desarrollada y cuyas características texturales ($SBET = 850 \text{ m}^2/\text{g}$ y $VTp = 0.84 \text{ cm}^3/\text{g}$) son comparables a las de carbones activados comerciales de buena calidad. Los notables cambios ocasionados por el

pretratamiento del aserrín pueden atribuirse al efecto catalítico que ejercería el ácido sobre su comportamiento pirolítico, promoviendo la degradación térmica del aserrín a menores temperaturas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Buenos Aires, CONICET y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por el apoyo financiero para la realización del presente estudio. Estos también desean expresar su reconocimiento a la Unión Europea –Programa Alfa.

REFERENCIAS

- Antal, M.J., Allen, S.G.; Dai, X.; Shimizu, B.; Tam, M.S.; Grönli, M. (2000). Attainment of the theoretical yield of carbon from biomass. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39, 4024-4031.
- Antal, M.J.; Grönli, M. (2003). The art science and technology of charcoal production. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42, 1619-1640.
- Basso, M.C., Cerrella, E.G., Buonomo, E.L., Bonelli, P.R., Cukierman A.L. (2005). Thermochemical Conversion of Arundo Donax into Useful Solid Products, *Energy Sources*, Vol. 27, 1429-1438.
- Blanco Castro, J.; Bonelli, P.; Cerrella, G.; Cukierman, A. L. (2000). Phosphoric acid activation of agricultural residues and bagasse from sugar cane: influence of the experimental conditions on adsorption characteristics of activated carbons. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39,4166-4172.
- Bonelli, P.R., Cerrella, E.G. and Cukierman, A.L. (2003). Slow Pyrolysis of Nutshells: Characterization of Derived Chars and of Process Kinetics, *Energy Sources*, Vol. 25, 767-778.
- Bonelli, P.R., Buonomo, E.L. and Cukierman, A. L. (2007) On Pyrolysis of Sugarcane Bagasse and Co-Pyrolysis with an Argentinean Subbituminous Coal,. *Energy Sources. Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Volume 29, 731-740.
- Bridgwater, A.V. (1999). Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51, 3-22.
- Cantarella, M., Cantarella, L., Gallifuoco, A., Spera, A., Alfani, F. (2004). Comparison of different detoxification methods for steam-exploded poplar wood as a substrate for the bioproduction of ethanol in SHF and SSF. *Process Biochemistry* 39, 1533-1542.
- Channiwala, S. A., Parikh, P. P. (2002). A Unified Correlation for Estimating HHV of Solid, Liquid and Gaseous Fuels, *Fuel*, Vol. 81, 1051-1063.
- Chaturvedi, O.P.; Das, D.K. (2005). Energy dynamics in Populus deltoides G₃ Marsh agroforestry systems in eastern India. *Biomass and Bioenergy* 29, Issue 2, 93-101.
- González, F., Ramiro, A., González-García, C. M., Gañán, J., Encinar, J. M., Sabio, E., Rubiales, J. (2005). Pyrolysis of Almond Shells. *Energy Applications of Fractions*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44: 3003-3012..
- Guerrero, M.; Ruiz, M.P.; Alzueta, M.U.; Bilbao, R.; Millera, A. (2005). Pyrolysis of eucalyptus at different heating rates studies of char characterization and oxidative reactivity. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 74, 307-314.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part2): conversion technologies. *Bioresource Technology*, 83, 47-54.
- Shinogi, Y. and Kanri, Y. (2003) Pyrolysis of Plant, Animal and Human Waste: Physical and Chemical Characterization of the Pyrolytic Products, *Bioresource Technol.*, Vol. 90, 241-247.
- Swamy, S.L.; Mishra, A.; Puri, S. (2006). Comparison of growth, biomass and nutrient distribution in five promising clones of *Populus deltoides* under an agrisilviculture system. *Bioresource Technology* 97, 57-68.
- Vernersson, S.T., Bonelli, P.R., Cerrella, E.G. Cukierman A.L. (2002). Arundo Donax Cane as Precursor for Activated Carbons Preparation by Phosphoric Acid Activation, *Bioresource Technology*, Vol. 83 (2), 95-104.
- Zandersons, J.; Gravitis, J.; Kakorevics, A.; Zhirinsh, A.; Bikovens, O.; Tardenaka, A.; Spince, B. (1999). Studies of the Brazilian sugarcane bagasse carbonisation process and product properties. *Biomass and Bioenergy*, 17, 209-217.

ABSTRACT

Physico-chemical properties of the BCS arising from pyrolysis of wood sawdust from poplar (*Populus deltoide*) at two different temperatures (600 °C and 800 °C) are ascertained in order to evaluate potentialities for specific end-uses. According to international standards, the BCS derived at both temperatures has potentiality as solid bio-fuel for domestic use, for briquettes manufacture and/or for employment in the steel industry. Textural characteristics of the generated BCSs also indicate that are reasonably suited for potential use as low-cost rough adsorbents and /or soil amenders. On the other hand, textural features of the BCS obtained at the lower temperature are compared with those determined for the one obtained from pyrolysis of the sawdust pre-treated with a phosphoric acid solution under the same operating conditions. The acid treatment induces an enhanced yield and a highly developed porous structure of the BCS, whose textural features are comparable to those of commercially available good quality activated carbons.

Keywords: Bio-fuel, Activated carbons, Renewable energy, Biomass