

ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO: CONTENIDOS CELULARES VS. CARBÓN FIJADO EN TRES ESPECIES DE INTERÉS FORESTAL DE LA PROVINCIA DE FORMOSA

Grabiela Zibetti^{a*}, Rita Benitez^a, Edgardo Calandri^b

^a *Facultades de Recursos Naturales y de Humanidades- UNaF. Formosa 3600 -Argentina*

^b *ICTA-Fac. Cs. Ex. Fís. y Nat.-UNC, Córdoba, 5016 - Argentina*

**Autor a quien dirigir la correspondencia: gabyzibetti@yahoo.com.ar*

Resumen

El carbón activado reconoce numerosas aplicaciones en la industria azucarera, química y farmacéutica, además de ser empleado en la remoción de contaminantes líquidos y gaseosos y su costo ha ido en constante aumento. Los desechos lignocelulósicos de origen vegetal resultan ser las materias primas más frecuentemente utilizadas para su elaboración y de estos, los provenientes de la actividad maderera son muy apropiados, por el alto contenido de fibras insolubles que presentan. En el presente trabajo se evalúan los rendimientos en carbón fijado, obtenidos a partir de maderas de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht) quebracho colorado (*Schinopsis balansae* Engl) y palma caranday (*Copernicia alba* Morong). Las mismas fueron molidas, activadas con ácido fosfórico por 24 h, lavadas, colocadas en un reactor de acero inoxidable y carbonizadas por 2 h en mufla a 600 °C y atmósfera autogenerada. Al carbón obtenido se le determinaron: volátiles a 950 °C por 10 minutos y cenizas a 750 °C por 6 h. Con estos resultados se calcularon: rendimiento de carbón activado (Y_C), porcentaje de carbón fijado (FC) y rendimiento de carbón fijado (Y_{FC}). Además, a las tres muestras de madera se les determinó el contenido de humedad y el de fibras bruta (FB) mediante hidrólisis ácida y alcalina, y detergente ácida (FDA) por hidrólisis ácida en detergente no iónico (Osborne). Los resultados obtenidos muestran una correlación negativa entre la FDA e Y_{FC} , con valores para quebracho colorado de 71,3% y 28,3%; 78,7% y 16,4% para quebracho blanco, respectivamente, e intermedios para la palma.

Palabras clave: carbón activado; maderas; lignocelulósico; carbón fijado

Introducción

La Provincia de Formosa se encuentra ubicada en la región fitogeográfica del Parque Chaqueño, en el este su clima es subtropical con lluvias uniformes durante todo el año y precipitaciones máximas anuales que oscilan entre los 1000 y 1200 mm. El resto del territorio presenta una estación seca en el invierno, con registros estacionales en el verano que, en el límite con Salta es de solo 600 mm anuales. La desigual humedad entre las distintas regiones de la provincia determina diferencias en la vegetación. Así, la región oriental posee una gran diversidad de especies de interés forestal, como "Quebracho colorado" *Schinopsis balansae* Engl, "Espina corona" *Gleditsia amorphoides* (Gris.) Taub, "Quebracho blanco" *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht, "Lapacho negro" *Handroanthus heptaphyllus* (Vell) Mattos, "Guayaibí" *Patagonula americana* L, "Algarrobo blanco" *Prosopis alba* Gris., "Palma" *Copernicia alba* Morong., etc.

La palma cumple un papel colonizador; se presenta como ejemplar aislado, diseminado ya como masas abiertas, semidensas, densas o notablemente densas, con un alto grado de coetaneidad. Pertenece a la clase de las monocotiledóneas, y puede ser considerada de algún modo como una especie alternativa a las latifoliadas tradicionales, por su aptitud tecnológica. Entre las especies nativas, constituye en la actualidad una de las de mayor existencia en la provincia de Formosa y en la región del Parque Chaqueño (Programa de Inventario Forestal, 1986).

El Quebracho blanco es una especie característica de la zona occidental seca del Parque Chaqueño las mejores masas por su existencia por hectárea se encuentran en el oeste del Chaco y Formosa. Madera apta para tornería, fabricación de tirantes, postes, carbón, etc. (Tortorelli L. ,2000).

La estación del Quebracho colorado está ubicada en la zona húmeda del Parque Chaqueño, influenciada por los ríos Paraguay y Paraná. En muchos lugares en esta zona suelen observarse brinzales del vardascal, de extraordinaria densidad. Madera utilizada para la extracción de tanino, fabricación de tablas, tablones, durmientes, vigas, postes, etc. (Tortorelli L. ,2000).

Formosa es una provincia con gran actividad maderera, el aprovechamiento de los bosques tuvo un gran desarrollo desde el inicio del siglo XX, como así también la producción de tanino a partir del

quebracho colorado chaqueño y santiagueño. Cuenta con numerosos aserraderos que abastecen la demanda de la provincia y de otras, a partir de especies de madera duras, semipesadas y pesadas. A lo largo de todos estos años la fabricación de productos madereros originó y sigue originando aserrín como desecho de los mismos, pudiendo utilizar este residuo para la obtención de carbón activado a partir de maderas duras y de especies alternativas tales como la Palma blanca, lo cual permitiría un aprovechamiento integral del recurso forestal.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar el carbón obtenido de muestras de aserrín de Quebracho colorado chaqueño, Quebracho blanco y Palma, teniendo en cuenta el rendimiento de carbón fijado y los contenidos lignocelulósicos de las especies estudiadas.

El carbón activado es un término general que denomina a toda una gama de productos derivados de materiales carbonosos. Tiene un área superficial excepcionalmente alta, preparado artificialmente a través de un proceso de carbonización, para que exhiba un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Es un producto obtenido a partir del carbón amorfo, el cual se ha sometido a un tratamiento de activación, con el fin de incrementar su área superficial hasta 300 veces, debido a la formación de poros internos, pudiendo alcanzarse áreas de 1200 -1500 m²/g de carbón.

A partir de la difracción de rayos X, se pueden describir dos tipos de carbones activados, uno de ellos está formado por microcristales semejantes al grafito, con capas paralelas de átomos de carbono ordenadas hexagonalmente. El segundo tipo se describe como un retículo tridimensional de hexágonos de carbono dispuestos al azar, como consecuencia de las estructuras bencénicas condensadas que se forman durante la carbonización. Entre los microcristales que constituyen el carbón, existen huecos o espacios vacíos que se denominan poros. El área superficial total de estos poros, incluida las de sus paredes, es muy amplia, siendo ésta la principal razón de su gran capacidad de absorción. (Manual del carbón activado, 2011). Este tipo de material manifiesta la propiedad de atraer y fijar en su superficie sustancias en estado gaseoso o líquido (Caramello, M. y Molina, A., 2010).

El carbón activado es muy utilizado para el tratamiento y/o eliminación de contaminantes líquidos y gases. Ejemplo de ello son los tratamientos de agua potable, de efluentes industriales y de productos que requieren purificación, decoloración y desodorización, entre otros. (Béjar Ubaldo M. A. et al., 2005).

Los carbones activados obtenidos industrialmente pueden provenir de la madera y de residuos forestales u otros tipos de biomasa, turba, lignito y otros carbones minerales, así como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas.

La literatura cita a los residuos agrícolas tales como maderas, cáscaras de semillas y frutos de distintas especies vegetales, como materia prima de bajo costo para la obtención de carbón activado (Ioannidou O. y Zabaniotou A., 2006). Se propone un nuevo tipo de agroindustria que utilice como materia prima los desechos vegetales, considerados basura, convirtiéndose en una alternativa sustentable que produciría un material con mayor valor agregado (carbón activado), nuevos ingresos económicos y nuevos empleos; todo esto ayudaría además, a reducir la importación de este producto (Donaciano Luna et al., 2007)

La activación tiene por finalidad la deshidratación y la desvolatilización, en forma controlada, de algunos compuestos constituyentes de la materia prima, obteniéndose un carbonizado con elevado porcentaje de carbono fijo y una estructura porosa. Hay dos maneras de activar el carbón: por activación física y química. En el primer caso se emplea comúnmente vapor de agua, nitrógeno u otros gases. La activación química es el proceso más utilizado en la fabricación del CA, un compuesto químico agregado a la materia prima deshidrata los compuestos orgánicos presentes para luego, durante la carbonización, lograr que el desarrollo del poro sea eficiente. Se han empleado diferentes compuestos químicos entre los que cuentan el ácido fosfórico (H₃PO₄); cloruro de zinc (ZnCl₂); carbonato de Potasio (K₂CO₃); hidróxido de potasio (KOH); hidróxido de sodio (NaOH); cloruro de calcio (CaCl₂); Cloruro de potasio (KCl); etc. (Caramello M. et al, 2010). Activaciones con ácido fosfórico fueron realizadas a partir del aserrín de madera de Roble blanco (*Quercus alba*) y Álamo amarillo (*Liriodendron tulipifera*) (Jagtoyen, M et al., 1997) y de madera de olivo (*Olea europea*) (Ould-Idriss et al., 2011) .

El empleo de reactores herméticos para obtener atmósferas autogeneradas (AAG) evitan el ingreso de oxígeno con la finalidad de prescindir del nitrógeno como gas inertizante en esta etapa. Por otro lado, los valores de superficie específica obtenidos en AAG, son muy importantes en relación a los obtenidos con N_2 (g) y auspiciarían una alternativa tecnológica al uso de este (Caramello, M. y Molina, A., 2010).

En la obtención de carbón activado a partir de residuos industriales de fibras de palma en Malasia, fue utilizada una granulometría de partícula 1–2 mm y la carbonización fue llevada a cabo a 700 °C (Foo K.Y. y Hameed B.H., 2010). Igual tamaño de partícula fue utilizado para la madera de olivo (Ould-Idriss et al., 2011), *Pinus radiata* y *Eucalytus* (Cetin E. et al., 2004). En la fabricación de CA a partir de precursores de distinto origen biológico se utilizaron temperaturas de activación en rangos comprendidos entre 400 - 800 °C (Diao et al., 2002).

En general puede decirse que la composición química de la madera se encuentra entre los siguientes rangos: 40-50% de celulosa, 20-30 % de hemicelulosa, 20 y 35 % de lignina, 0 a 10 % de extractivos (Helena Pereira, et al, 2003). No obstante, la composición química de la madera no puede ser definida con precisión para cierta especie o grupo de especies, dado que depende de la parte del árbol, tipo de madera, localización geográfica y condiciones de crecimiento. (Amador Honorato Salazar, Jorge Hernández Pérez, 1998). En el carbón activado producido a partir de la madera es de importancia el conocimiento cuantitativo de sus componentes lignocelulósicos. Se ha demostrado que sólo el carbón a partir de celulosa tiene una importancia significativa en la producción de área de poros (Khezami L. et al., 2005).

El Rendimiento de carbón y el contenido de carbono fijado son los dos principales indicadores de la eficiencia de la producción de carbón vegetal. El rendimiento de carbono fijado es más útil ya que expresa la cantidad de carbono que permanece en el residuo sólido a partir de la descomposición de las muestras de biomasa. (Elyounssi K, et al, 2010)

En las últimas décadas, la demanda de carbón activado ha tenido un gran aumento, que ha estado acompañado por un desarrollo del conocimiento de los carbones y de los fenómenos de adsorción en su superficie. Está ampliamente difundido el empleo de carbón activo en diversos campos de la industria tales como la del azúcar, la química, la farmacéutica, etc. y además, se está incrementando su uso en el tratamiento de aguas potables, aguas residuales y en procesos industriales. Su elevada capacidad de adsorción de diversas sustancias, la gran facilidad y rapidez que posee para ser eliminado del medio tratado y la posibilidad de ser regenerado, una vez agotado, permite un tratamiento eficaz y barato en múltiples aplicaciones, en muchas de las cuales es un producto insustituible.

El presente estudio pretende aportar a la comprensión de los fenómenos involucrados en el proceso de obtención del carbón activado a partir de subproductos forestales como los que existen en esta Provincia. Teniendo en cuenta experiencias industriales ya existentes en otros lugares, como en la provincia de Córdoba, en donde la cáscara de maní es utilizada actualmente para producir carbón activado, la idea de utilizar un desecho como el aserrín, con mejores condiciones para la carbonización, resulta a todas luces atractivo.

Materiales y Métodos

La recolección de las muestras se realizó en aserraderos e industrias provenientes de la provincia de Formosa. El aserrín de Palma caranday (*Copernicia alba* Morong) fue obtenido en la localidad de Tres Lagunas y el de Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht) y Quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae* Engl), en industrias ubicadas en la ciudad de Formosa

Para cada una de las maderas en estudio se determinó humedad, Fibra detergente ácida y fibra bruta (por triplicado) y fue elaborado carbón activado estableciéndose su rendimiento (por duplicado) y carbón fijado (por triplicado)

En los ensayos de humedad, Fibra detergente ácida y fibra bruta, las muestras de aserrín con los que se elaboró el carbón activado, fueron molidas y tamizadas a través de malla N° 10 (tamaño de partícula inferior a 1mm)

La determinación de la humedad se realizó según la norma TAPPI, 'Technical Association of the Pulp and Paper Industry', 1999.

La fibra bruta (FB) se obtuvo mediante digestión ácida seguida de digestión básica e incineración de residuos; en tanto que, la fibra detergente ácida (FDA), se determinó por digestión ácida con cloruro de cetiltrimetilamonio, ambos procedimientos según Osborne & Voogt, 1986.

Para los ensayos de carbón activado las muestras de aserrín fueron tamizadas a través de mallas N° 10 y 18. El aserrín retenido en este último (tamaño de partícula entre 1 y 2 mm), se secó a 100 °C hasta peso constante y luego se puso en contacto con solución de ácido fosfórico al 65% durante 24 horas. Finalizado este periodo, se lavó el aserrín con agua corriente hasta que el efluente alcanzó pH 7 y se secó el material del filtro a 100 °C, hasta peso constante. Finalmente, 20 g de este aserrín tratado se introdujeron en el reactor y a este en la mufla a 600°C durante 2 horas. Al cabo de este tiempo se dejó enfriar, se retiró el carbón del interior del reactor, se pesó y se calculó su rendimiento como sigue:

$$Y_C = \frac{M_c}{M_w \cdot (100 - H)} \times 100 \quad (1)$$

Y_C = rendimiento de carbón activado en base seca
 M_c = masa de carbón activado obtenido
 M_w = masa del aserrín utilizada
 H = porcentaje de humedad del aserrín

Una vez obtenido el carbón activado se midió el porcentaje de carbono fijado de la siguiente manera: se pesó 1 g del carbón obtenido en balanza analítica y dentro de un crisol previamente tarado. Se tapó y llevó a mufla a 950 °C por 10 minutos, luego se retiró, se enfrió en desecador y se pesó el crisol con la tapa puesta. A continuación, el crisol anterior se llevó de nuevo a mufla, sin tapar, por 6 h a 750 °C. Luego se retiró, se enfrió en desecador y se pesó las cenizas. Con los datos anteriores se procedió a calcular el porcentaje de carbón fijado, el contenido de cenizas y el rendimiento en carbón fijado, tal como se detalla a continuación:

$$FC = \frac{M_r}{M_c} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

FC = porcentaje de carbón fijado
 M_r = masa del residuo

$$A = \frac{m_c}{M_c} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

A = porcentaje de cenizas
 m_c = peso de las cenizas

$$Y_{FC} = Y_C \cdot \left[\frac{FC}{100 - A} \right] \quad (4)$$

Donde:

Y_{FC} = porcentaje de carbón fijado

Todas las determinaciones se hicieron por triplicado, a excepción del rendimiento de carbón activado, que se realizó por duplicado. Los resultados se expresan como valor medio acompañado de la desviación estándar. Dado que Y_C y Y_{FC} son valores calculados a partir de datos experimentales, el error en ellos fue estimado por propagación de los errores de las variables que los determinan, mediante la primera derivada de las ecuaciones (3) y (4) (Skoog D. et al, 2005)

Los resultados de Fibra bruta (%FB) y Fibra detergente ácida (%FDA) fueron analizados estadísticamente mediante el Test de Tukey ($\alpha = 0,05$) con la finalidad de determinar las diferencias entre medias.

Resultados y Discusión

La tabla N° 1 expresa el rendimiento de carbón en base seca y el porcentaje de carbón fijado. Este último parámetro se introdujo con el fin de expresar la cantidad de un carbono relativamente puro que permanece en el residuo sólido a partir de la descomposición del aserrín

Tabla 1. Resultados obtenidos para: humedad de la madera, porcentaje de carbón fijado (%FC) y rendimientos en carbón activado (Y_c) y carbón fijado (Y_{FC})

Especie	Humedad (%)	Y_c (% B.S.)	FC (% B.S.)	Y_{FC} (% B.S.)
Quebracho blanco	4,1 ± 0,1	24,6 ± 0,1	69,3 ± 4,4 a	17,8 ± 0,5
Palma	6,1 ± 0,2	28,0 ± 0,2	62,8 ± 3,0 a	18,9 ± 0,4
Quebracho colorado	10,4 ± 0,2	34,9 ± 0,3	78,4 ± 5,0 a	28,3 ± 1,0

Test de Tuket en columnas: letras iguales indican diferencias no significativas

Mientras que %FC nos da la proporción de carbono presente en el carbón activado obtenido, Y_c e Y_{FC} informan sobre el rendimiento en carbón activado y en carbono, respectivamente, relativo al aserrín de partida.

Como puede observarse en la tabla 1, los rendimientos en carbón activado y carbón fijado más elevados los presenta el quebracho colorado, mientras que los más bajos corresponden al quebracho blanco, mientras que el aserrín de palma arrojó valores intermedios. Los rendimientos de carbón activado se encuentran dentro de los rangos publicados por Caramello, M. y Molina, A. (2010). Según la literatura valores de carbón fijado cercanos al 30% se consideran altos (Elyounssi K, et al, 2010), caso que aquí se daría con el quebracho colorado. Los resultados para FC no parecen marcar igual tendencia, observándose que el quebracho blanco supera a la palma en ese parámetro. Sin embargo, el test de Tukey indica que no existen diferencias significativas entre tales valores.

La tabla N°2 muestra los resultados obtenidos de fibra bruta (FB), que da cuenta de la lignina presente en la biomasa, y la fibra detergente ácida (FDA) que mide lignina y celulosa juntas, por lo tanto la diferencia determina el contenido celulósico en la muestra.

Tabla 2. Valores medios de porcentaje de Fibra bruta (%FB_(B.S.)), y Fibra detergente ácida (%FDA_(B.S.)), ambos en base seca.

Especie	%FB _(B.S.)	%FDA _(B.S.)
Quebracho blanco	74,3 ± 2,2 a	78,7 ± 0,3 b
Palma	67,4 ± 3,1 a	75,6 ± 1,4 a
Quebracho colorado	50,0 ± 0,9 b	71,3 ± 2,0 a

Test de Tuket en columnas: letras iguales indican diferencias no significativas

Se observa en la Tabla 2 que los mayores contenidos en Fibra bruta y Fibra detergente ácida corresponden al quebracho blanco, los más bajos al quebracho colorado y son intermedios para la palma.

En la Figura 1 se representan las tendencias en los valores de fibras insolubles y de carbón fijado, para las mismas tres especies. Al comparar las curvas superiores con la inferior queda evidenciada una correlación negativa entre FDA e Y_{FC} . Posiblemente la forma de la gráfica para FB se deba a los contenidos celulares: al ser menor para la palma el valor de fibra bruta se acerca más al de FDA. Esto significa que hay mucha lignina en esta especie, pero no quiere decir que las otras la tengan en menor cuantía; en realidad, las especies de quebracho estudiadas aquí poseen contenidos celulares importantes, en particular el quebracho colorado. Estos son removidos por los solventes orgánicos empleados durante la determinación de FB, arrojando valores anormalmente bajo de fibra bruta. En el

quebracho colorado esos contenidos están representados por los taninos, presentes en los vasos y canales taníferos, de esta madera (Tortorelli, L, actualizado 2000). En tabla 2 el test de Tukey indica que la muestra diferente es precisamente quebracho colorado, para los dos restantes, la diferencia entre ellos no es significativa. Cuando se analizan los resultados para FDA se observa una tendencia opuesta a la anterior. Aquí la técnica empleada provoca menores pérdidas en contenidos celulares, haciendo que los valores del quebracho colorado se aproximen al valor de la palma y dejando al quebracho blanco como diferente.

Las tendencias contrarias que muestran las curvas verde (carbón fijado) y azul superior (FDA) pueden estar relacionadas con la relación lignina/celulosa, pero a raíz de lo antes expuesto, no es posible calcular esa relación a partir de los datos obtenidos.

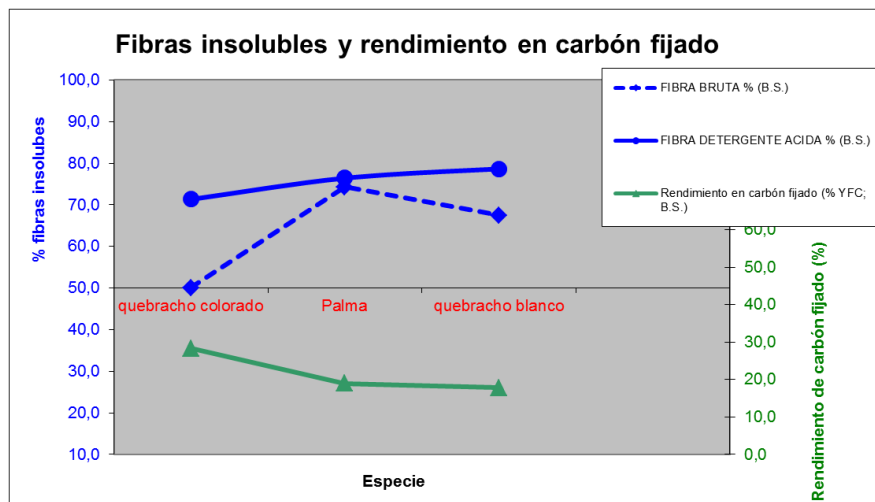


Gráfico 1: Fibras insolubles y rendimiento en carbón fijado

Conclusiones

El estudio del carbón fijado a partir de una única temperatura de carbonización y contenidos lignocelulósicos de las maderas de Palma caranday (*Copernicia alba* Morong), Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht) y Quebracho colorado (*Schinopsis balansae* Engl), procedentes de industrias de aserrados de la provincia de Formosa, se caracterizó por presentar diferencias significativas entre las medias de % FB y de %FDA, así como una correlación negativa entre las variables FDA e Y_{FC} , por lo que se recomienda:

- Modificar los tiempos y temperatura de pirolisis y comparar los rendimientos de carbón fijado para las especies en estudio
- Cuantificar los Contenidos de solubles
- Determinar la Relación lignina/ celulosa

Agradecimientos

Al Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA), de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la Universidad Nacional de Córdoba; y a los laboratorios de la Facultad de Salud de la Universidad Nacional de Formosa, por facilitarnos el uso del equipamiento que poseen.

Referencias

- 1) BÉJAR U., REYES A. 2005. Síntesis y caracterización mediante microscopía electrónica de carbones activados desarrollados a partir de residuos maderables. Foro de Ingeniería e Investigaciones en materiales, 2005. Vol 2, 48-53 [on line]. Disponible en: http://www.iim.umich.mx/foro_materiales2011/2%20Foro/8.pdf [18 octubre 2011].
- 2) CARMELLO M., MOLINA A. 2010. Obtención de Carbón activado granular a partir de carozos de aceituna mediante activación química con ácido ortofosfórico. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - UNC
- 3) CETIN E., MOGHTADERI B., GUPTA R., WALL T. 2004. Influence of pyrolysis conditions on the structure and gasification reactivity of biomass chars. Fuel 83, 2139-50
- 4) ELYOUNSSI K., BLIN J., HALIM J. M. 2010. High-yield charcoal production by two-step pyrolysis. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 87, 138-143
- 5) FOO K.Y., HAMEED B. 2011. Microwave-assisted preparation of oil palm fiber activated carbon for methylene blue adsorption. Chemical Engineering Journal 166, 792-795
- 6) HONORATO S. J., HERNÁNDEZ P. J. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. Madera y Bosque 4(2):79-93. [on line]. Disponible en: <http://www1.inecol.edu.mx/myb/resumenes/4.2/pdf/Honorato%20y%20Hernandez%201998.PDF> [18 diciembre 2011].
- 7) IOANNIDOU O., ZABANIOTOU A. 2007. Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 11, 1966-2005.
- 8) JAGTOYEN M., DERBYSHIRE F. 1998. Activated carbons from yellow poplar and white oak by H_3PO_4 activation. Pergamon, Carbon 36, 1085-1097.
- 9) KHEZAMI L., CHETOUANI A., TAOUK B., CAPART R. 2005. Production and characterisation of activated carbon from wood components in powder: Cellulose, lignin, xylan. Powder Technology, vol 157, Issues 1-3, 48 - 56
- 10) LUNA D., GONZÁLEZ A., GORDON M., MARTÍN N. 2007. Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. UAM-Azcapotzalco, Area Termofluidos. [on line]. Disponible en: http://www.izt.uam.mx/contactos/n64ne/carbon_v2.pdf [10 sept 2011].
- 11) MARTÍNEZ M.L., TORRES M.M., MAESTRI D.M., GUZMÁN C.A. 2006. Preparation and characteristics of activated carbon from olive stones and walnut shells. Industrial Crops and Products. Volume 23, Issue 1, 23-28
- 12) OSBORNE D.R., VOOGT P. 1986. Análisis de los nutrientes de los alimentos. Ed Acribia. España
- 13) TORTORELLI, L. 2000. Maderas y Bosques Argentinos. Editorial ACME. Buenos Aires. Argentina.
- 14) OULD-IDRISS A., STITOU M., CUERDA-CORREA E.M., CUERDA-CORREA C., MACÍAS-GARCÍA A., ALEXANDRE-FRANCO M.F., GÓMEZ-SERRANO V. 2011. Preparation of activated carbons from olive-tree wood revisited. I. Chemical activation with H_3PO_4 Fuel Processing Technology 92, 261-265
- 15) SKOOG D., WEST D., HOLLER F., CROUCH S. 2005. Fundamentos de Química Analítica. Octava Edición Ed. Thomson. México