

## CARBON ACTIVADO A PARTIR DE RAMAS DE PINO CARIBE Y TECA

Adriana Padilla<sup>(1)</sup>, Carlos Scott<sup>(2)</sup>, Bolívar Gamboa<sup>(3)</sup>, Roberto Sánchez<sup>(4)</sup>

### RESUMEN

Venezuela importa un promedio anual de más de 2 millones de Kg de carbón activado. Importaciones éstas destinadas fundamentalmente para las industrias de alimentos, bebidas y tabacaleras. La Escuela de Ingeniería Forestal de la Universidad de Los Andes investiga las posibilidades de uso de los subproductos de aclareo y explotación de las extensas plantaciones de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis* que hay en el oriente y occidente del país respectivamente. Se ensayó, a nivel de laboratorio, la producción de carbón activado por el método físico usando CO<sub>2</sub>, tratando de establecer la factibilidad de conversión de ramas de las anteriores especies en carbón activado con propiedades similares a los comerciales (área superficial entre 400-1200 m<sup>2</sup>/g).

**Palabras Claves:** carbón activado, activación física, CO<sub>2</sub>, *Pinus caribaea*, *Tectona grandis*

---

<sup>(1)</sup>Profesora ULA

<sup>(2)</sup>Profesor UCV

<sup>(3)</sup>Estudiante CEFAP - ULA

<sup>(4)</sup>Director Televisión FUNDAPES

## ABSTRACT

2 millions Kg/year of activated carbon are imported to Venezuela for food, drink and tobacco industries. Forest Engineering at University of The Andes investigate the possible uses from thinning and harvest wastes produced in the extensive plantations of *Pinus caribaea* and *Tectona grandis* at east and west of the country. This work present an exploration about production of activated carbon by physical method using CO<sub>2</sub>, with aims to establish the possibility of conversion the wastes cited to activated carbon with similar commercial properties (superficial area of 400-1200 m<sup>2</sup>/g).

**Key Words:** activated carbon, physical activation, CO<sub>2</sub>, *Pinus caribaea*, *Tectona grandis*

## INTRODUCCION

El carbón activado constituye uno de los más importantes tipos de carbón industrial, es preparado por carbonización y activación de un gran número de materias primas de origen biológico tales como cáscaras de coco, madera, turba y carbón mineral. El carbón activado junto con otros tipos de carbones forman un grupo de materiales carbonáceos en los cuales la estructura y propiedades son más o menos similares a las del grafito (Rodríguez y Linares, 1984).

Es el adsorbente por excelencia y es utilizado principalmente en adsorción de pesticidas, herbicidas, hidrocarburos clorinados y fenoles en aguas para el consumo humano, en diversos efluentes industriales para la eliminación de contaminantes, en la recuperación de solventes, en la purificación y eliminación de color, olor y sabor de diversos líquidos tales como jugos de fruta y bebidas alcohólicas (Andreu, 1992).

Según cifras obtenidas desde el año 1988 hasta el mes de Julio de 1993, del Instituto de Comercio Exterior, Venezuela importó para esos años un promedio de 2 millones de kg de carbón activado por un valor aproximado de US\$ 5,5 millones, importaciones destinadas fundamentalmente para las industrias de alimentos, bebidas y tabacaleras (Scaffidi, 1995; Scott et al, 1993).

El desperdicio por árbol en explotación de plantaciones corresponde a un 50% aproximadamente (Reyes, 1995), ésto conduce a diseñar programas para investigar tecnologías apropiadas que racionalicen el uso de tan valioso recurso. Material proveniente de desrames u otros desechos de aclareos o explotaciones, además de los de origen industrial como aserrín, piezas muy cortas y/o angostas, fracción de finos de las astillas para la industria papelera y ellas mismas en determinadas circunstancias, podría ser utilizado para la obtención de carbón activado a un costo relativamente bajo.

En Venezuela existe un enorme potencial de recursos maderables representado, entre otros, por las extensas superficies plantadas con especies de pino caribe y teca que cubren extensas áreas en el oriente y occidente respectivamente (Valero, 1993; C.V.G., 1990).

Este estudio está dirigido a establecer la factibilidad de conversión de ramas de las especies *Pinus caribaea* y *Tectona grandis* en carbón activado, con propiedades similares o superiores a los que se comercializan en el mercado para abastecer la industria nacional, mediante el método de activación física en dos etapas, usando CO<sub>2</sub> como gas activante.

## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Materia prima

Ramas de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis* provenientes de plantaciones con 21 y 17 años de edad respectivamente fueron convertidas en carbón vegetal posteriormente activado.

Se adoptó la simbología C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 y C8 para diferenciar los carbones activados según especie y tiempo de activación a temperatura máxima.

En el Cuadro 3, la correspondencia entre la simbología y las condiciones de activación se explica por sí sola.

### Caracterización química de las ramas

Con la finalidad de aceptar o descartar que las diferencias entre los carbones activados pueden relacionarse con la composición química de las especies estudiadas se procedió a determinar:

- Solubilidad de la madera en alcohol-benceno según ASTM 1107-84
- Lignina según ASTM 1106-84
- Cenizas según ASTM 1102-84

## Densidad de las ramas

Se usó la norma DIN 52182 adaptada a las características dimensionales de las muestras.

## Carbonización

La carbonización constituyó la primera etapa de la preparación del carbón activado. En esta etapa, así como en la de activación, se usó un equipo construido en la Escuela de Química de la U.C.V. (Figura 1).

Los parámetros fijados para esta primera etapa fueron escogidos de anteriores experiencias:

- Velocidad de calentamiento de 5 °C/min
- Temperatura máxima de 800 °C
- Tiempo a temperatura máxima de 2 horas
- Flujo de N<sub>2</sub> de 1,5 cm<sup>3</sup>/s

## Análisis físico - químico del carbón vegetal

Además de evaluar humedad, volátiles y cenizas, según ASTM D 1762-84, se consideró útil la determinación del valor calórico de estos carbones como información complementaria. Se usó, para tal fin el calorímetro PARR 1341.

## Activación física del carbón vegetal

El proceso de activación corresponde a la segunda etapa de la preparación del carbón activado en la cual se usó CO<sub>2</sub> como gas activante.

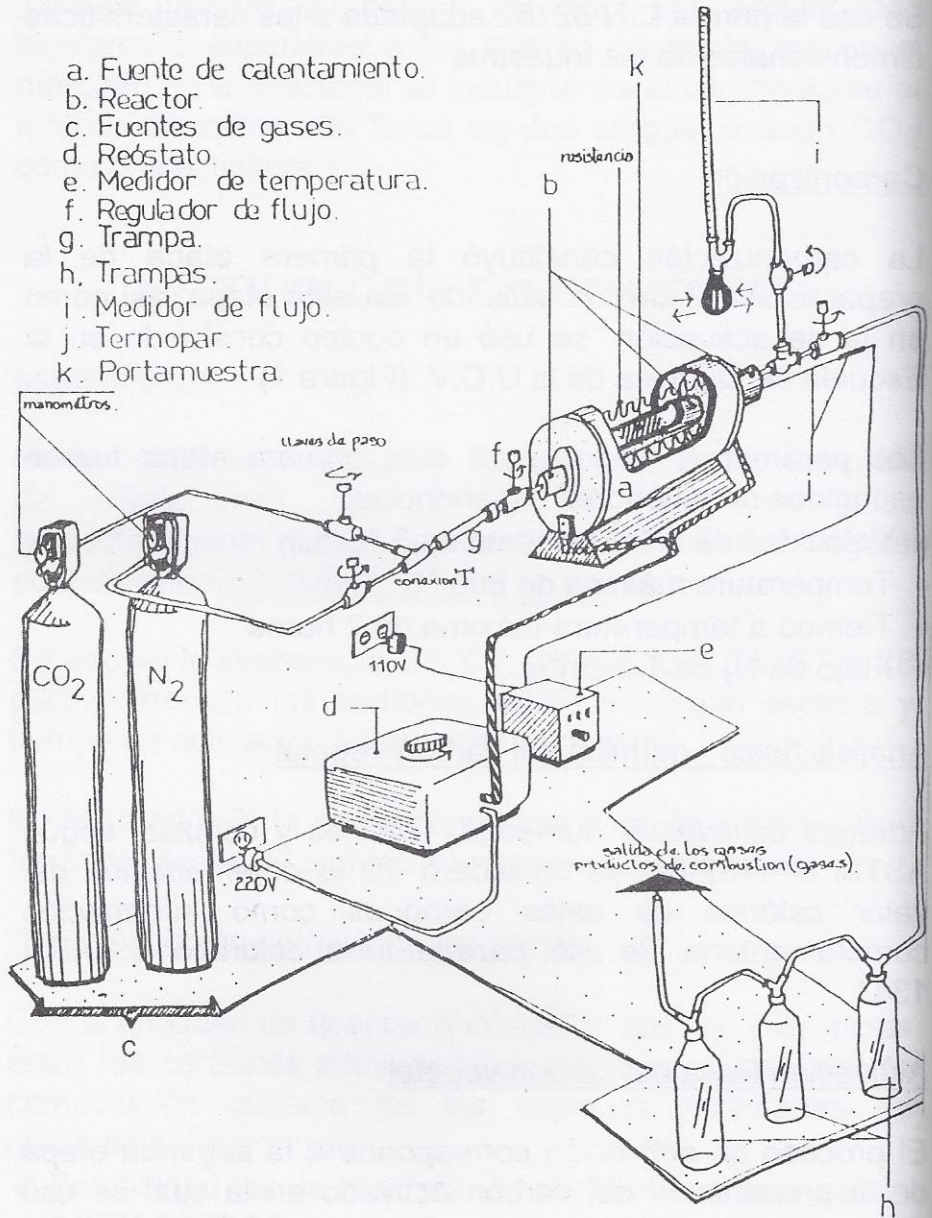


Figura 1. Equipo usado para obtención de carbón activado

Se preparó una mezcla de todo el material carbonizado para cada una de las especies, con el propósito de homogeneizar las muestras.

Se fijaron las siguientes condiciones de activación:

- Velocidad de calentamiento de 5 °C/min
- Temperatura máxima de 700 y 800 °C
- Tiempo, a temperatura máxima, de 2 y 4 horas
- Flujo de CO<sub>2</sub> de 1,5 cm<sup>3</sup>/s

### Determinación de área superficial

- Método de un solo punto

Se usó un analizador de área superficial QUANTASORB. El método se basa en determinar la cantidad de gas necesario para formar una monocapa molecular de gas sobre la muestra. Se usó N<sub>2</sub> como adsorbtivo a -196 °C. El método de cálculo aplicado por el medidor de área superficial se fundamenta en la ecuación de BET, que describe la adsorción de un gas sobre la superficie de un sólido.

- Método multipunto

Los carbones activados fueron sometidos a determinación de área superficial por el método de multipunto en un ASAP 2010 con el objeto de extraer información sobre su estructura porosa. La diferencia básica entre los métodos de un solo punto y multipunto consiste en que para el primero el área superficial se calcula a partir de un valor único de presión relativa (0,30 para los carbones analizados en este estudio), en tanto que para el segundo su cálculo se efectúa tomando diferentes valores.

- Índice de iodo

Se determinó siguiendo las especificaciones de la norma AWWA B600-78. Es una prueba que da

información sobre el área superficial interna de un carbón activado, está definido como los miligramos de yodo adsorbidos por 1 gramo de carbón a una concentración 0,02 molar.

## RESULTADOS Y ANALISIS

En el Cuadro 1 se observan los porcentajes de lignina, extractos en alcohol/benceno y cenizas de las muestras ensayadas, apreciándose un valor más elevado en el contenido de lignina, para *Pinus caribaea*, mientras que los porcentajes de extractivos y cenizas son menores que para *Tectona grandis*.

Los valores de las sustancias químicas analizadas se sitúan dentro de los márgenes establecidos en la literatura para componentes químicos de la madera (Sjostrom, 1993; Fengel y Wegener, 1983).

Adicionalmente se calculó la densidad de las muestras en base a peso seco al horno obteniendo valores de 0,63 y 0,66 g/cm<sup>3</sup> para *Pinus caribaea* y *Tectona grandis* respectivamente, un análisis de varianza aplicado a este ensayo no arrojó diferencia significativa entre esos dos valores.

Cuadro 1. Componentes químicos (%) en ramas de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis*

Species	Lignina	Extractivos	Cenizas
<i>Pinus caribaea</i>	34,76	2,72	0,39
<i>Tectona grandis</i>	30,89	4,31	1,53

Valores en % de humedad (M), volátiles (V) cenizas (C), carbono fijo (FC) y poder calórico (PC) en KJ/Kg de los carbones vegetales sin activar, son mostrados en el Cuadro 2.

Un somero análisis comparativo revela que no existen diferencias notables entre los % de carbono fijo y humedad, que hay una ligera ventaja en el poder calórico de la teca *Tectona grandis* y diferencias moderadas para los contenidos de volátiles y cenizas, ratificándose la tendencia general de que aquellos carbones con menores índices de volátiles tienen poder calórico menor (Earl, 1975).

Cuadro 2. Humedad (CH%), volátiles (V%), cenizas (C%), carbono fijo (%) y poder calórico (PC(KJ/Kg)) del carbón vegetal (base seca) a partir de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis*

Especie	CH%	V%	C%	CF%	PC(KJ/Kg)
<i>Pinus caribaea</i>	9,51	6,66	0,72	83	31139
<i>Tectona grandis</i>	9,32	7,49	2,31	82	32863

En el Cuadro 3 se señala la simbología usada para distinguir los carbones activados según la especie, la temperatura máxima de activación (°C) y el tiempo de activación (horas) a dicha temperatura, además del rendimiento (R%) obtenido partiendo del carbón vegetal.

Se observa que a mayor tiempo y temperatura de activación, disminuyen los porcentajes de rendimiento, a excepción de la muestra C8 donde se observa un valor

que no coincide con las estimaciones teóricas y que posiblemente se originó en una variación inadvertida de la velocidad de calentamiento, ésta fue controlada a través de un reóstato de regulación manual.

El hecho de que haya una caída en los valores de rendimiento se explica debido a que con temperaturas más altas existe un mayor grado de interacción entre el gas activante y el carbón, elevando la proporción de sustrato que es removido de la muestra; asimismo, al producirse un aumento del tiempo de reacción aumenta también el porcentaje de gasificación, lo cual significa que una mayor cantidad de material precursor se transforma en estado gaseoso (Ullman's, 1986).

Cuadro 3. Rendimiento (R%) de los carbones activados usando dos temperaturas (°C) y dos tiempos (Horas)

Especie	Muestra	°C	Horas	R%
<i>Pinus caribaea</i>	C1	800	2	82
	C2	700	2	90
	C3	800	4	80
	C4	700	4	86
<i>Tectona grandis</i>	C5	800	2	82
	C6	700	2	86
	C7	800	4	78
	C8	700	4	86

En el Cuadro 4 se presenta el área superficial específica (ASE) en m<sup>2</sup>/g calculada por el método de un solo punto y el índice de iodo (I<sub>2</sub>) en mg/g. Seguidamente se muestra el Cuadro 5 con la finalidad de avalar estadísticamente las diferencias encontradas según las especies y condiciones de activación.

De acuerdo con el análisis de varianza existe diferencia significativa entre todas las variables utilizadas, siendo las mejores condiciones: *Pinus caribaea*, 4 horas de activación y 800°C. Las variaciones no fueron significativas para el índice de iodo de carbones activados a 700 y 800 °C ; sin embargo, esta contradicción puede atribuirse a que no se determinó dicho índice para C4 ni C8 debido al agotamiento de las muestras por manipuleo excesivo durante los ensayos de laboratorio

Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación observándose relación significativa entre índice de iodo (y) y área superficial (x), cuya recta de regresión corresponde a:

$$y=672,8+0,6x \quad r^2=95,16 \quad \text{g.l.}=18$$

Esto significa que los cambios producidos en los valores del índice de iodo se deben a los cambios de valores de área superficial en 95% de los casos.

Cuadro 4. Área superficial específica (ASE) en m<sup>2</sup>/g (método de un solo punto) e índice de iodo (I<sub>2</sub>) en mg/g

Muestra	ASE	I <sub>2</sub>
C1	703	1112
C2	456	931
C3	777	1126
C4	556	*
C5	606	1021
C6	497	988
C7	636	1047
C8	510	*

\*no se determinó

Cuadro 5. Análisis de varianza del área superficial específica (ASE) e índice de yodo (I<sub>2</sub>) según la especie, temperatura y tiempo de activación

Fuente de variación	g.l.	F	
		ASE	I <sub>2</sub>
Especies ( <i>Pinus</i> y <i>Tectona</i> )	1	14,933*	4,388*
Temperatura (700 y 800 °C)	1	11,802*	0,825
Tiempo (2 y 4 horas)	1	124,903*	23,604*
Error	20		
Total	23		

\*Diferencia significativa al 5%

La estructura porosa total de un carbón activado está formada por un amplio rango de tamaño de poros, aunque por razones prácticas ellos son clasificados en tres grupos, siguiendo las definiciones de la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), según su diámetro: macroporos (>50 nm), mesoporos (entre 2 y 50 nm) y microporos (<2 nm).

En el Cuadro 6 se refleja la estructura microporosa de los carbones obtenidos en esta investigación.

Los adsorbentes para fase líquida requieren una cantidad considerable de mesoporos por la necesidad de una rápida difusión en el líquido y a causa del tamaño grande de muchos adsorbatos en disolución y un área superficial específica entre 300 y 1000 m<sup>2</sup>/g. Los adsorbentes para fase gaseosa son esencialmente microporosos y con área superficial específica entre 1000 y 2000 m<sup>2</sup>/g (Earl, 1975).

Aunque los valores de área superficial que muestran tanto el Cuadro 4 como el Cuadro 6 están por debajo de 1000 m<sup>2</sup>/g, es posible mejorar estos valores optimizando parámetros como velocidad de calentamiento y tipo de agente oxidante, además, según Rodríguez y Linares (1989), el uso de CO<sub>2</sub> como agente adsortivo se adapta mejor que el N<sub>2</sub>.

Cuadro 6. Diámetro promedio de poros ( $\varnothing\text{\AA}$ ) en Angstrom, área superficial interna (ASI) en m<sup>2</sup>/g y área superficial específica (ASE) en m<sup>2</sup>/g para los carbones C1, C2, C3 y C8

Especie	$\varnothing\text{\AA}$	ASI	ASE
C1	16,59	647	652
C2	15,58	417	421
C3	15,76	619	620
C8	15,62	431	438

## CONCLUSIONES

La proporción de los componentes químicos está dentro de los rangos para coníferas y latifoliadas reportados en la literatura.

Es posible que las mayores áreas superficiales representadas por carbón activado a partir de *Pinus caribaea* obedezcan a su mayor porcentaje en el contenido de lignina.

El análisis físico-químico para carbón vegetal sugiere su adaptabilidad para la obtención del carbón activo.

Los parámetros experimentales que condujeron a la producción de carbón activo con mayor área superficial e índice de iodo fueron 4 horas a 800 °C.

En términos generales, para los procesos de carbonización y activación, el rendimiento desde materia prima hasta carbón activado fue de 21%, para las especies en estudio.

El área superficial de los carbones activados a partir de ramas de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis* está constituida básicamente por una estructura esencialmente microporosa.

Los carbones activos producidos a partir de las especies en cuestión pueden ser usados para adsorción en soluciones.

El carbón activado por el método físico, de ramas de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis*, es una alternativa para reemplazar, en el futuro, parte de la importación venezolana debida a este renglón.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- ANDREU, P. 1992. **Catalizadores y adsorbentes**. En: Política científica n° 33:23-26. Venezuela.
- C.V.G. - PROFORCA. 1990. **Estudio de mercado forestal**. Cap. IV.B. Ciudad Guayana. Estado Bolívar, Venezuela.
- EARL, D. 1975. **Informe sobre el carbón vegetal**. ONU. Roma.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. 1983. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Walter and Gruyter. Germany.
- REYES, E. 1995. Comunicación personal. ULA. Venezuela
- RODRIGUEZ, F. ; LINARES. A. 1990. **Microporous structure of activated carbons as revealed by adsorption methods**. Chemistry and physics of carbon. Marcel Dekker INC. Vol. 21.
- SCAFFIDI, A. 1995 . **Obtención de carbones activados a partir de corteza de pino de Uverito y su caracterización físico-química**. Tesis Licenciatura. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. U.C.V. Venezuela.
- SCOTT, C.; ROSARIO, J.; ACEVEDO, J.; BOLÍVAR, C. 1993. **Obtención de carbón activado por activación química de tusa de maíz**. 1er Congreso Venezolano de Química Analítica. pp. 104-106.

**SJOSTROM, E. 1993. Wood chemistry fundamentals and applications.** Academic Press, INC. New York

**ULLMANN'S. (1986). Enciclopedia of Industrial Chemistry.** Vol A6: Ceramics to Chlorohydrins. Ed. Publishers, New York.

**VALERO, J. 1993. Variaciones en el contenido de nutrientes con la edad foliar, en una plantación de teca en dos sitios de drenaje contrastantes de la Reserva Forestal de Ticoporo.** Tesis M.Sc. Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Mérida - Venezuela.