

CALIDAD DEL CARBON VEGETAL: EVALUACION PRELIMINAR

Sayra Navas O.*

Se presenta aquí una evaluación de la calidad de carbón de roble (*Quercus copeyensis*) producido en la zona de Villa Mills, cordillera de Talamanca. El análisis aproximado (porcentaje de humedad, porcentaje de materias volátiles, porcentaje de cenizas y porcentaje de carbono fijo), el poder calórico y la densidad, exhiben una gran variabilidad, lo que era de esperarse, considerando el proceso de fabricación. Los resultados de contenido de humedad, en general altos, parecen indicar que el carbón almacenado reabsorbió humedad. Los altos contenidos de materias volátiles, así como los relativamente bajos valores de carbono fijo y cenizas obtenidos, parecieran indicar que la temperatura final de carbonización no fue lo suficientemente alta, en una parte significativa del proceso de producción. Se recomienda tratar de obtener una mayor temperatura de carbonización, con el propósito de mejorar la calidad del carbón en general, y en particular resolver el problema de los altos contenidos de materias volátiles encontrados, que no permitirían su exportación.

En general los resultados de poder calórico son satisfactorios desde el punto de vista de estándares internacionales de importación de carbón vegetal, sin embargo son bajos con respecto de lo que se esperaría para carbón de roble. Los valores de densidad obtenidos, de bajos a intermedios, con respecto de que se esperaría para carbón de roble, parecen reflejar el grado de descomposición parcial de la madera empleada en su fabricación.

*An evaluation of the quality of oak charcoal (*Quercus copeyensis*) produced in the area of*

Villa Mills, Talamanca Cordillera, Costa Rica, is presented here. The proximate analysis (% moisture, % volatile matter, % of ash and % fixed carbon), the calorific value and the density, showed a great variability, as it was expected, considering the production process. The results of the moisture contents, high in general, seem to indicate that the stored charcoal reabsorbed humidity. The relatively high contents of volatile matter, as well as the relatively low values of fixed carbon and ash contents obtained, seem to indicate that, the final carbonization temperature was not high enough in a significative part of the production process. It is recommended to try to get a higher carbonization temperature, in order to improve the quality of the charcoal in general, and to solve the particular problem of the high volatile matter contents found, that would not allow its exportation.

The results of calorific values were in general satisfactory from the view point of international importation standards of wood charcoal, however the values are low with respect to the ones expected for oak charcoal. The values obtained for the density, which range from low to intermediate with respect to the expected ones for oak charcoal, seem to reflect the partial decomposition of the wood.

ASPECTOS GENERALES

El comportamiento irregular y disperso del mercado de carbón vegetal en Costa Rica, la baja demanda¹ de este producto por un lado, y justificaciones

* M. Sc. Profesora en el Departamento de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



como las encontradas en el análisis de la viabilidad económica y financiera de producir y exportar carbón vegetal de residuos forestales², por otro lado, parecen indicar que Costa Rica, al igual que Guatemala y México, podría desarrollar un modesto mercado de exportación.

Costa Rica exportó pequeñas cantidades de carbón vegetal a Panamá y Puerto Rico antes de 1984, sin embargo después de ese año, las exportaciones, dirigidas principalmente a Alemania, aumentaron en forma significativa¹.

En general, es posible emplear cualquier tipo de madera, tanto de coníferas como de latifoliadas de zonas templadas o tropicales, para producir carbón vegetal, sin embargo, las propiedades del carbón producido que determinan su calidad varían, entre otras cosas, con la especie empleada³.

De acuerdo con un estudio sobre la utilización de residuos forestales en la fabricación de carbón vegetal en Costa Rica², entre los factores claves para entrar en los mercados internacionales están la calidad del producto y la seguridad de mantener y controlar esa calidad.

El carbón vegetal en trozos naturales, para uso recreativo, restaurantes, barbacoas, etc., representa la principal demanda europea de carbón¹. En los países europeos, los criterios de calidad del carbón vegetal están basados sobre todo en sus propiedades químicas y, para cocción directa de alimentos, se establecen

restricciones en cuanto al contenido de materias volátiles, pues su combustión produce emanaciones que pueden ser nocivas^{1,3}.

Los consumidores de Europa Occidental y de los Estados Unidos identifican la calidad del carbón en términos de propiedades como: facilidad de ignición, ligero sabor ahumado, tamaño de los trozos y tiempo de quema prolongado, guiándose como regla general por los estándares indicados en el Cuadro 1.

Un caso más detallado de criterios de calidad lo constituyen los estándares de importación de carbón vegetal establecidos en el Reino Unido, que se describen en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Estándares de importación de carbón vegetal del Reino Unido⁴

% de humedad	< 5,0
% de materias volátiles base húmeda	< 13,0
base seca	< 13,7
% de cenizas base húmeda	< 3,0
base seca	< 3,2
% de carbón fijo base húmeda	> 80,0
base seca	> 84,2
Poder calórico cal/g (base seca)	> 7200

Nota: Para efectos de comparación, los datos sobre base seca se calcularon a partir de los valores sobre base húmeda.

Los estudios relacionados con la posible comercialización en mercados internacionales del carbón vegetal producido en Costa Rica, establecen la necesidad de conocer y controlar su calidad^{1,2}, de allí la importancia de realizar estudios de calidad del carbón vegetal.

CUADRO 1. Estándares de importación de carbón vegetal de Europa Occidental y Estados Unidos²

Humedad	5-8 %
Materias volátiles (base seca y sin cenizas)	~ 20 %
Densidad a granel	300-350 kg/m ³

OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue hacer una evaluación preliminar de la calidad del carbón producido con un horno metálico transportable, a partir de madera de roble, de la zona de Villa Mills, Cordillera de Talamanca.

De antemano se conocía la gran variabilidad en el proceso de producción del carbón⁵, sin embargo se consideró útil disponer de al menos, algunos indicadores generales de su calidad, que permitieran diseñar estudios posteriores.

MATERIALES Y METODOS

Fabricación del carbón

El carbón analizado proviene de seis procesos de carbonización, quemas, cuya duración varió entre 4 y 4,5 días, llevados a cabo al final de la época lluviosa y principios de la época seca, (diciembre-febrero) en un horno metálico transportable, similar al horno Mark V (6,7) y al TPI (4), cuya capacidad es de 7 metros estereo de leña (un metro estereo de leña ~0,65 metros cúbicos de leña).

La madera por carbonizar, *Quercus copeyensis*, fue rajada a grosores entre 15 y 35 centímetros y longitudes de 0,5 a 1 metro y parte de ella se encontraba en avanzado grado de descomposición⁵ debido a que en la zona en la que se realizaron las quemas (Reserva Forestal de Río Macho) solo se permite carbonizar madera muerta.

De las seis quemas realizadas en un mismo sitio y por el mismo carbonero, se obtuvieron 120 sacos (capacidad promedio 29 kg). Debe señalarse que debido a la falta de experiencia en el uso del horno metálico transportable, así como a errores en algunos de los procesos, se esperaba una gran variabilidad en la calidad del carbón.

De acuerdo con el estudio de Pedroni⁵ la producción del carbón presentó mucha variación entre carbonizaciones.

Después de un período de almacenamiento de tres meses, en el que los sacos fueron apilados al aire libre y cubiertos por una tela plástica, se seleccionaron 30 muestras de 2,5 kilogramos, se colocaron en bolsas plásticas y se llevaron al laboratorio para su análisis químico.

Análisis químico del carbón

Siguiendo la norma ASTM⁸, método D-1762, se procedió a realizar el análisis aproximado del carbón, que incluye las determinaciones de porcentaje de contenidos de humedad, (H); materias volátiles, (MV) y cenizas, (C); el contenido de carbono fijo se calculó con la fórmula $100 - (H + MV + C)$. Así se obtuvieron los datos que aparecen en el Cuadro 3 de Resultados sobre base húmeda.

De acuerdo con la norma, los análisis de cada muestra se hicieron por duplicado y en aquellos casos donde la variación excedía lo establecido por el estándar ($\pm 0,1$ para H, $\pm 0,1$ para MV y $\pm 0,5$ para C) se llevaron a cabo dos o más repeticiones.

En el Cuadro 3 de resultados, aparecen además los valores correspondientes al análisis químico del carbón sobre base seca, que se calcularon con la fórmula dada por ASTM- D-3180-84⁹:

$$V_S = \frac{V_H \times 100\%}{100 - H}$$

En donde:

V_S = variable en base seca;

V_H = variable tal y como se determinó;

H = humedad tal y como se determinó



CUADRO 3. Análisis químico de carbón de roble, procedente de la zona de Villa Mills (base humedad/base seca)

# Muestra	ANALISIS BASE HUMEDA (%)				ANALISIS BASE SECA (%)			MVSC (%)
	H	MV	C	CF	MVS	CS	CFS	
1	6.7	23.5	0.8	69.0	25.2	0.9	74.0	25,40
2	7.4	16.8	1.3	74.5	18.1	1.4	80.5	18,34
3	6.0	25.3	0.6	68.1	26.9	0.6	72.4	27,06
4	9.3	13.4	0.9	76.4	14.8	1.0	84.2	14,93
5	7.6	17.6	0.9	73.8	19.0	1.0	79.9	19,17
6	5.7	17.9	0.8	75.5	19.0	0.8	80.1	19,15
7	8.5	18.0	0.8	72.6	19.7	0.9	79.3	19,86
8	8.5	16.3	1.1	74.1	17.8	1.2	81.0	18,00
9	7.1	18.8	0.7	73.4	20.2	0.8	79.0	20,34
10	7.5	18.7	0.8	73.0	20.2	0.9	78.9	20,36
11	7.6	24.4	0.5	67.5	26.4	0.5	73.1	26,53
12	7.7	18.3	0.7	73.3	19.8	0.8	79.4	19,94
13	9.9	13.4	0.9	75.7	14.9	1.0	84.0	15,04
14	9.7	13.8	0.8	75.7	15.3	0.9	83.8	15,42
15	9.1	16.6	0.9	73.4	18.3	1.0	80.7	18,47
16	9.8	14.8	0.9	74.5	16.4	1.0	82.6	16,55
17	8.2	16.5	0.8	74.6	18.0	0.9	81.3	18,15
18	9.4	14.8	0.8	75.0	16.3	0.9	82.8	16,43
19	8.3	21.3	0.9	69.6	23.2	1.0	75.9	23,41
20	9.6	14.9	0.8	74.7	16.5	0.9	82.6	16,63
21	8.7	19.8	0.8	70.7	21.7	0.9	77.4	21,88
22	9.9	11.1	1.0	78.0	12.3	1.1	86.6	12,42
23	8.2	22.6	0.8	68.4	24.6	0.9	74.5	24,80
24	6.5	35.2	0.8	57.5	37.6	0.9	61.5	37,90
25	6.9	22.8	1.0	69.3	24.5	1.1	74.4	24,75
26	9.7	14.0	0.9	75.4	15.5	1.0	83.5	15,64

H: Humedad
 MV: Materiales volátiles
 MVS: Materiales volátiles,
 base seca,
 MVSC: Materiales
 volátiles, base seca y sin
 cenizas, obtenido así:

$$MVSC = \frac{MVS \times 100\%}{100 - C}$$

C: Cenizas
 CS: Cenizas, base seca
 CF: Carbono fijo,
 CFS: Carbono fijo, base
 seca

Poder calórico del carbón

El poder calórico se determinó cierto tiempo después, siguiendo el método estándar ASTM-D-2015-85¹⁰.

El método consiste en quemar una muestra de masa conocida, en atmósfera de oxígeno, en una bomba calorimétrica adiabática, bajo condiciones controladas. El

calorímetro es estandarizado quemando una muestra de ácido benzoico. El poder calórico es calculado a partir de datos de temperatura obtenidos antes, durante y después de la combustión y corregidos por contribuciones de calor de otros procesos. De esta manera se obtuvieron los valores que, en base húmeda y seca, aparecen en el Cuadro 4 de Resultados.

CUADRO 4. Poder calórico y densidad de carbón de roble procedente de la zona de Villa Mills (base húmeda y seca baja para poder calórico y base seca para densidad)

Número muestra	Poder calórico base húmeda (PCH) (cal/g)	Poder calórico base seca (PCS) (cal/g)	Densidad aparente (g/ml)	Densidad a granel (g/ml)
1	6905	7449	0,59	0,27
2	7056	7703	0,52	0,23
3	6955	7439	0,50	0,23
4	7069	7760	0,47	0,21
5	6917	7576	0,46	0,21
6	7006	7599	0,54	0,24
7	7031	7701	0,50	0,25
8	7069	7692	0,57	0,26
9	6955	7576	0,58	0,26
10	6993	7651	0,46	0,21
11	6766	7386	0,61	0,27
12	7193	7844	0,58	0,26
13	7369	8152	0,66	0,30
14	6969	7675	0,57	0,26
15	6969	7641	0,58	0,26
16	7006	7759	0,54	0,24
17	7143	7781	0,56	0,25
18	7018	7729	0,60	0,27
19	6968	7566	0,52	0,23
20	7019	7688	0,51	0,23
21	—	—	0,65	0,29
22	7232	7965	0,54	0,24
23	6645	7168	0,53	0,24
24	6457	7003	0,57	0,26
25	7094	7531	0,56	0,25
26	7169	7869	0,60	0,27

Densidad del carbón

Dado que el carbón vegetal es un material de alta porosidad (70-80%), la densidad varía con la técnica de medición empleada. Así, es posible determinar la densidad a granel llenando un recipiente de volumen conocido (1 metro cúbico) con carbón y midiendo la masa correspondiente. Si a la medida de volumen anterior, se le

resta el volumen de los vacíos entre los pedazos de carbón, esto es, si se mide el volumen de los pedazos de carbón, considerando los poros internos como ocupados por carbón, se obtendría lo que se denomina densidad aparente¹¹.

El método empleado en esta evaluación preliminar es sencillo y permite obtener un valor de densidad aparente. Consiste en determinar la masa de un

CUADRO 5. Resumen de los resultados del análisis estadístico correspondiente a los valores del análisis proximal. "Contenidos de: humedad, materias volátiles, carbono fijo " y cenizas; del poder calórico y de la densidad.

Estadístico	VARIABLES										
	H (%)	MV (%)	MVS (%)	CF (%)	CFS (%)	C (%)	CS (%)	PCH (%)	PCS (cal/g)	D (cal/g)	(g/cm ³)
Número de Muestras	26	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26
Promedio	8,2	18,5	20	72,5	79	0,8	0,9	6999	7636	0,55	
Varianza	1,6	25,4	26,7	17,6	25,7	0,02	0,03	31840	55376	0,0028	
Desviación Estándar	1,3	5,04	5,16	4,19	5,08	0,2	0,2	178	235	0,051	
Mínimo	5,7	11,1	12,3	57,5	61,5	0,5	0,5	6457	7003	0,46	
Máximo	9,9	35,2	37,7	78	86,6	1,3	1,4	7369	8152	0,66	
Ambito	4,2	24,1	25,3	20,5	25,1	0,8	0,9	912	1149	0,2	

- H: Humedad.
 MV: Materias volátiles, base húmeda, MVS: Materias volátiles, base seca.
 CF: Carbono fijo, base húmeda, CFS: carbono fijo, base seca.
 C: Cenizas, base húmeda, CS: Cenizas, base seca.
 PCH: Poder calórico, base húmeda, PCS: Poder calórico, base seca.
 D: Densidad aparente en base seca.

volumen de carbón de 500 mililitros, medido lo más exactamente posible en una bolsa plástica, donde al factor de llenado de las bolsas en bulto se le da el valor de 0,45. La densidad se calcula con la fórmula¹²:

$$\text{Densidad aparente (en g/ml)} = \frac{\text{masa de la bolsa llena} - \text{masa de la bolsa vacía}}{500 \times 0,45}$$

Tal y como lo indican Petroff y Doat¹², el valor de la densidad obtenido por este método no difiere mucho del obtenido midiendo el volumen de cada pedazo de carbón.

En el Cuadro 4 de Resultados, aparecen los valores de la densidad aparente en base seca; así como la

densidad a granel. Esta fue calculada a partir de los valores de densidad aparente desestimando el factor de llenado.

RESULTADOS

Aparecen en esta sección los resultados del análisis químico del carbón contenidos de humedad, materias volátiles, cenizas y carbono fijo en base húmeda y seca (Cuadro 3). El Cuadro 4, incluye los resultados de poder calórico en base húmeda y seca y de densidad aparente y densidad a granel en base seca. El Cuadro 5 es un resumen de los resultados de un análisis estadístico básico que se hizo a los valores obtenidos para cada una de las variables estudiadas.

CUADRO 5. Resumen de los resultados del análisis estadístico correspondiente a los valores del análisis proximal. "Contenidos de: humedad, materias volátiles, carbono fijo" y cenizas; del poder calórico y de la densidad.

Estadístico	VARIABLES									
	H (%)	MV (%)	MVS (%)	CF (%)	CFS (%)	C (%)	CS (%)	PCH (cal/g)	PCS (cal/g)	D (g/cm ³)
Número de Muestras	26	26	26	26	26	26	26	25	25	26
Promedio	8.2	18.5	20	73	79	0.8	0.9	6999	7636	0.55
Varianza	1.6	25.4	26.7	18	25.7	0	0	31840	55376	0.0026
Desviación Estándar	1.3	5.04	5.16	4.2	5.08	0.2	0.2	178	235	0.051
Mínimo	5.7	11.1	12.3	58	61.5	0.5	0.5	6457	7003	0.46
Máximo	9.9	35.2	37.7	78	86.6	1.3	1.4	7369	8152	0.66
Ambito	4.2	24.1	25.3	21	25.1	0.8	0.9	912	1149	0.2

H: Humedad.

"MV: Materias volátiles, base húmeda, MVS: Materias volátiles, base seca."

CF: Carbono fijo, base húmeda, CFS: carbono fijo, base seca."

"C: Cenizas, base húmeda, CS: Cenizas, base seca."

"PCH: Poder calórico, base húmeda, PCS: Poder calórico, base seca."

D: Densidad aparente en base seca.

CONCLUSIONES

- Se encontró una gran variabilidad de la calidad del carbón, expresada en términos de cada uno de las variables estudiadas: **contenidos de humedad, materias volátiles, carbono fijo y cenizas; poder calórico y densidad.**
- En cada una de las variables estudiadas, se observó una coincidencia de baja a intermedia con los correspondientes valores de la literatura, para carbón de maderas tropicales preparado bajo condiciones controladas de laboratorio.
- Se observó una pequeña coincidencia de los valores de las variables estudiadas, con los correspondientes valores encontrados en la literatura para carbón fabricado bajo condiciones similares a las del estudio.
- También se observó una muy pequeña coincidencia de los valores obtenidos en este estudio, con los correspondientes valores establecidos por estándares internacionales de importación de carbón vegetal.
- El análisis de los datos de **humedad**, pareciera indicar que el carbón analizado reabsorbió humedad, después de su fabricación. Esto, podría corregirse mejorando las condiciones y tiempo de almacenamiento del carbón.



6. El análisis de los resultados de **contenidos de materias volátiles, carbono fijo y cenizas**, parecieran indicar que la temperatura final, para una parte significativa del proceso de carbonización, no fue lo suficientemente alta. Esto podría corregirse con un mejor control del proceso.
7. Desde el punto de vista de la variable **poder calórico**, puede afirmarse que los resultados son muy satisfactorios, pues prácticamente un 100% de las muestras cumplen con los estándares de importación internacionales. Sin embargo, los valores obtenidos se encuentran por debajo de los que se podrían obtener con roble.
8. Desde el punto de vista de la variable **contenido de materias volátiles**, los resultados son altamente insatisfactorios, pues los altos contenidos encontrados en este estudio, no permitirían su exportación. Pero de nuevo, este problema puede ser corregido tratando de obtener temperaturas de carbonización más altas.
9. Los valores de **densidad** obtenidos fueron de bajos a intermedios, con respecto de lo que se podría esperar para carbón de roble. La causa de estos resultados podría ser el avanzado grado de descomposición en que se encontraba parte de la madera.

LITERATURA CITADA

1. ICAP, Proyecto Plurinacional de Cooperación Técnica Energía y Desarrollo en el Istmo Centroamericano: **Producción de carbón vegetal en Costa Rica. situación y perspectivas**. Impreso en la Unidad de Publicaciones del Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP), San José, Costa Rica. 1988.

2. World Bank/UNDP/ Bilateral AID/ Energy Sector Management Assistance Program: **Costa Rica forest residues utilization study. Volumen I - Technical Report**, Household Energy Unit, Industry and Energy Department, Washington D.C., USA 20 433, 1985.
3. Briane, D.; Doat, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de boi**. Paris (Francia), EDISUD, 1985.
4. Paddon, A.R.; Harker, A.P. **The production of charcoal in a portable metal kiln**. Tropical Products Institute G119, 1979.
5. Pedroni, L. **Sobre la producción de carbón en los robledales de altura de Costa Rica**. Informe Técnico No. 178. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales. Publicación No. 3, CATIE, COSUDE, Turrialba, Costa Rica, 1991.
6. Earl, D.E. **The Mark V Portable Steel Kiln**. Uganda For. Dep., Tech. Note No 1964/70 1970.
7. Earl D.E. **Informe Sobre el Carbón Vegetal**, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia (INFORAT #18999), 1975.
8. American Society for Testing and Materials. **ASTM-Método D-1762-64**, 1964.
9. American Society for Testing and Materials. **ASTM-Método D-2015-89**, 1989.
10. American Society for Testing and Materials. **ASTM-Método D-3180-84**, 1984.
11. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais CETEC. **Carvão vegetal. Destilação. Carvoejamento. Propriedades. Controle de Qualidade**. Serie de Publicações Técnicas/SPT-006, ISSN-0100-9540. 1980.
12. Petroff, G.; Doat, J. **Pyrolyse des Bois Tropicaux. Influence de la Composition Chimique des Bois sur les Produits de Distillation.** *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, no 177, Janvier-Fevrier 1978.
13. Pedroni, L. **Producción de carbón en el Cerro de la Muerte**. Comunicación personal, 1989.