

CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS DE LA MADERA Y CARBON DE ONCE ESPECIES FORESTALES DE LA AMAZONIA PERUANA

Pepe Rivera Inga¹
Manuel Uceda Castillo²

RESUMEN

Las características físico-químicas de la madera y el carbón de once especies maderables procedentes de Madre de Dios, Perú, fueron determinadas mediante el análisis del contenido de humedad, densidad y análisis químico de la madera. Del carbón se determinó el rendimiento, contenido de humedad, densidad y análisis químico.

Mediante análisis estadísticos se logró la influencia de las características físico - químicas de la madera sobre los principales componentes del carbón.

SUMMARY

The physical and chemical characteristics of wood and charcoal of eleven species of tropical hardwood from Madre de Dios, Peru, were determined. The moisture content, density, and chemical analysis of charcoal were evaluated.

A statistical analysis was carried out to find the Influence of the physical and chemical characteristics of wood on the components of charcoal.

1. INTRODUCCION

La madera, componente principal de la biomasa forestal, históricamente ha contribuido a satisfacer necesidades prioritarias de la humanidad. En la actualidad, debido a que los combustibles fósiles se van agotando, la madera como biocombustible recobra importancia y se vislumbra como alternativa de uso energético. Este potencial de energía demanda el desarrollo de estudios que permitan aprovechar la biomasa forestal maderable, sin dejar de lado el uso racional y sostenido de este recurso valioso. Así, una forma de uso es el carbón vegetal, producto de la combustión incompleta de la madera, que es utilizado como fuente de energía en algunas industrias. Su uso apropiado implica conocer las características físico-químicas que, como es obvio, dependen de las características originales de la madera.

Este estudio tiene por objeto determinar las características físico - químicas de la madera y el carbón de once especies maderables del departamento de Madre de Dios, Perú, para ser utilizadas con fines energéticos.

2. REVISION DE LITERATURA

Según Batista *et al* (1983) el comportamiento de la madera, durante el proceso de carbonización, puede ser representado por la sumatoria de los comportamientos aislados de sus tres componentes principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. Si estos componentes están juntos se da cierta

¹ Bachiller Forestal

² Ing. Forestal. Profesor Asociado, Dpto. Industrias Forestales. UNALM

interacción, pero los efectos pueden ser considerados despreciables, por lo que el estudio de cada uno separadamente puede representar una buena aproximación del fenómeno como un todo.

Earl (1975) señala que la humedad inicial de la madera no afecta las propiedades físicas y químicas del carbón vegetal obtenido.

Varios autores han establecido que existe una alta correlación entre la densidad aparente del carbón y la densidad de la madera que dio origen (Aguimelio y Batista 1980; Brito y Barrichuelo, 1984; Doat y Petroff, 1975; FAO, 1983). A partir de 79 pares de valores densidad de las maderas y carbón resultantes, encontraron un coeficiente de correlación (r) de 0,87 siendo este valor significativo a nivel de confianza de 0,95.

Existen evidencias de que las maderas ricas en carbohidratos son las que dan menos carbón y más piroleñoso. A la inversa, las maderas que contienen mucha lignina y extractivos tienen mejor rendimiento en carbón. Asimismo, se ha determinado que una fuerte correlación positiva entre la madera y el carbón en cuanto al contenido de cenizas (Aguimelio y Batista, 1980; Martins, 1980; Petroff y Doat, 1978).

Remigio (1983), para cuatro maderas, determina una correlación (r) de 0.70 entre la lignina y el contenido de carbono fijo. Ullman (1958) considera que el rendimiento de carbón de madera y la proporción de carbono contenido en ella, dependen de la temperatura final de carbonización.

Briane y Doat (1985) sostienen que la composición del carbón depende de la técnica de carbonización y, en particular, de la temperatura aplicada y el tiempo de carbonización. Además señalan que el carbón está principalmente constituido por carbono; materias volátiles (carbono, hidrógeno y oxígeno en cantidades más o menos importantes); materias minerales (sílice, hierro, calcio, metales alcalinos, a veces fósforo, un poco de nitrógeno y en general un poco de azufre). Todos estos minerales que existen en la madera inicial y subsisten en su totalidad en el carbón resultante; a causa del rendimiento de la carbonización, el porcentaje contenido en el carbón es triple o cuádruple que el de la madera.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Pulpa y Papel del Departamento de Industrias Forestales y en el Laboratorio de Bioquímica del Departamento de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Recolección y preparación de muestras

Las maderas fueron recolectadas en la zona de Mavila, departamento de Madre de Dios, Perú. Las muestras de madera se obtuvieron de dos árboles por especie con diámetros (Dap) comprendidos entre 20 y 40 cm; se cortaron trozas de 1 m de longitud del tercio medio superior de cada árbol. Las trozas luego fueron aserradas en listones de 2.3 x 2.5 cm, para obtener probetas de 10 cm de longitud. Para el análisis químico de la madera se colectó el aserrín producido en la preparación de las probetas.

La identificación botánica de las especies estudiadas estuvo a cargo del Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM. Se analizaron las siguientes especies:

Chimimua	(<i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul)
Copal	(<i>Protium</i> sp.)
Estoraque	(<i>Myroxylon balsamum</i> (L.) Harms)

Mashonaste	(<i>Clarisia racemosa</i> (R. et P.))
Mojara caspi	(<i>Laetia procera</i> (P. et E.) Elchier)
Palo santo	(<i>Mauria sp.</i>)
Fariña seca	(<i>Celtis schipil</i> Standl)
Oreja de burro	(<i>Pausandra trianae</i> (M. Arg.) Balli)
Sapotillo	(<i>Quararibea bicolor</i> (Ducke) Cuatr.)
Tamamuri	(<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) Berg)
Moena amarilla	(<i>Endlicheria sp.</i>)

Ensayos físico - químicos de la madera

Se consideraron las determinaciones de humedad y densidad básica, de acuerdo con los procedimientos señalados por las Normas ITINTEC N°.- 251.010 y 251.011, respectivamente.

La determinación de extractivos en alcohol - benceno se efectuó conforme a la Norma TAPPI T 6 OS-59; extractivos en agua, con base en el método descrito por Savard; celulosa utilizando el método Kurschener y Hoffner; lignina, según el método de George y Jayme; cenizas y sílice, según la Norma 150 R-1762.

Carbonización

Para la carbonización se tomó una muestra de 12 probetas por especie. Esta se introdujo en la retorta siguiendo una distribución al azar. La temperatura interna se controló a intervalos de 10 minutos utilizando un pirómetro incorporado en la retorta. Dicho control se efectuó hasta llegar a una temperatura máxima de 460 °C en un periodo de 4 horas.

Ensayos físico - químicos del carbón

Los procedimientos requeridos para determinar la densidad se ciñeron a la Norma ITINTEC N° 251.0011.

Los rendimientos en peso y volumen se obtuvieron mediante el cálculo numérico determinado por las relaciones siguientes:

$$\text{Rdto. en Peso} = \frac{\text{P. seco carbón}}{\text{P. seco madera}} \times 100$$

$$\text{Rdto. Volumen} = \frac{\text{V. de carbón}}{\text{V. de madera}} \times 100$$

Las determinaciones de contenido de humedad, cenizas y materias volátiles se ciñeron a lo estipulado por la Norma ASTM D-1762.

El porcentaje de carbono fijo (CF) se calculó con la relación siguiente.

$$\text{CF} = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ materias volátiles})$$

Determinación del poder calorífico superior

Las muestras de carbón se molieron y homogenizaron, luego se tamizaron en los tamices N° 40 y 60 recogiendo el carbón que pasó la malla N° 40 y el retenido por la malla N° 60.

Para determinar el poder calorífico superior (PCS), se puso en un gramo de carbón seleccionado de cada una de las especies en la bomba calorimétrica, colocada en un calorímetro adiabático. Este método. Es el que se emplea para determinar el calor de combustión de un material orgánico en estado sólido.

Análisis estadístico

Con los valores promedio de todas las determinaciones, se calcularon las regresiones y correlaciones simples y el análisis de varianza, utilizando el diseño experimental completamente al azar, para determinar la influencia de las características físico-químicas de la madera en las características físico-químicas del carbón.

El procesamiento de los datos se realizó utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) en el Centro de Estadística y Procesamiento de Datos (CEPDA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

4. RESULTADOS

Los Cuadros 1 y 2 presentan las características físicas y químicas de las maderas estudiadas y del carbón resultante.

Cuadro 1: CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LAS MADERAS ESTUDIADAS

ESPECIE	Contenido de humedad %	Densidad básica (g/cm ³)	EXTRACTIVOS		Celulosa %	Lignina %	Ceniza %	Silice %	Hemicelulosa %
			Alcohol benceno %	Agua caliente %					
1. Chimicua	41,13	0,63	2,01	3,14	55,84	31,18	1,85	1,40	9,12
2. Copal	103,57	0,55	3,69	7,08	44,20	26,94	0,93	0,25	24,24
3. Estoraque	37,96	0,78	6,01	4,84	49,31	26,42	0,56	0,08	17,70
4. Mashonaste	57,73	0,46	3,81	7,12	50,32	27,46	1,58	0,67	16,83
5. Mojara caspi	50,12	0,63	1,23	3,61	55,48	27,64	0,91	0,19	14,74
6. Palo santo	36,07	0,31	2,04	2,30	54,53	25,38	0,31	0,06	17,24
7. Fariña seca	46,26	0,59	3,55	3,47	54,65	27,03	0,64	0,15	13,13
8. Oreja de burro	58,77	0,59	1,88	6,06	48,32	29,82	2,36	0,21	17,62
9. Sapotillo	60,30	0,53	1,39	6,77	0,52	26,44	1,72	0,21	17,91
10. Tamamuri	42,70	0,70	3,55	4,77	52,58	26,66	2,09	1,88	15,12
11. Moena amarilla	51,98	0,50	1,77	2,27	55,40	26,82	0,80	0,17	15,21

Cuadro 2: CARACTERÍSTICAS, FISICO-QUÍMICAS DEL CARBÓN DE LAS MADERAS ESTUDIADAS

ESPECIE	Rendimiento en peso %	Rendimiento en vol %	Densidad aparente (g/cm ³)	Cont.de humedad %	Materias Volátiles %	Cenizas %	Carbón fijo %	Pcs* (cal/g)	Pcs **	
									CH (%)	cal/g
1. Chamicua	35.22	56.31	0.41	4.36	23.28	7.41	64.95	7736.73	3.66	7453.56
2. Copal	35.46	61.14	0.33	4.50	23.42	2.63	69.45	7799.54	3.22	7548.40
3. Estoraque	32.10	52.90	0.47	5.38	12.67	1.55	80.40	8567.42	4.28	8200.73
4. Mashonaste	34.35	57.40	0.27	6.40	8.72	5.78	79.10	8492.57	5.34	8037.37
5. Mojara caspi	31.89	43.76	0.48	5.88	13.62	15.59	72.91	7970.69	4.55	7601.35
6. Palo santo	32.59	62.89	0.23	4.30	17.94	1.05	76.71	8288.44	4.10	7948.61
7. Fariña seca	31.88	52.71	0.38	5.04	12.75	2.36	79.85	8755.60	4.11	8395.70
8. Oreja de burro	34.21	51.19	0.43	5.96	14.05	7.15	72.84	7772.54	5.96	7309.30
9. Sapotillo	32.71	47.53	0.33	5.88	15.62	5.59	72.91	8749.19	4.26	8401.85
10. Tamamuri	34.52	51.50	0.48	4.40	18.07	10.71	66.82	8101.22	3.56	7804.08
11. Moena amarilla	30.52	54.10	0.29	5.50	10.15	1.93	82.42	8740.09	5.29	8277.74
Pcs* Poder calorífico superior (Peso seco al horno)										
Pcs** Poder calorífico superior (Peso seco al aire)										
CH : Contenido de humedad										

Influencia de las características físico-químicas de la madera sobre los principales componentes del carbón

El Cuadro 3 resume los valores de correlación (r) y coeficiente de determinación (r^2) de las variables estudiadas, encontrándose una alta correlación entre la densidad básica de la madera y la densidad aparente del carbón, lo que implica que el factor densidad básica de la madera influye notablemente en la variación de la densidad aparente del carbón, tal como lo señalan Petroff y Doat (1978), Remigio (1983) y Aguiñelío y Batista (1980).

En relación al rendimiento del carbón con respecto a la composición química de la madera, los componentes químicos de la madera como la lignina, los extractivos en agua y cenizas influyen de manera directa en el rendimiento del carbón, mientras que los carbohidratos totales influyen inversamente. Estos resultados se confirman con los obtenidos por Brito y Barrichelo (1984) y Martins (1980) que señalan el mismo comportamiento.

Para el caso de las cenizas de carbón, se determinó que existe una fuerte relación directa con las cenizas y la sílice de las maderas y en menor grado con la lignina. También se encontró una relación inversa con los carbohidratos totales.

Entre el poder calorífico superior del carbón y los componentes químicos de las maderas estudiadas, en términos generales no se ha observado una relación definida. Aisladamente, algunas especies han presentado un PCS alto, sin guardar relación necesariamente con la composición química de la madera.

Influencia del rendimiento y composición química del carbón sobre su poder calorífico superior

Para las variables PCS y rendimiento de carbón se determinó una correlación de -0.71 y un coeficiente de determinación de 51,41; en consecuencia, a menor rendimiento de carbón, mayor poder calorífico superior tendrá el carbón elaborado.

Según el Cuadro 4, para las maderas estudiadas, el PCS del carbón está fuertemente influenciado por su composición química, tal como lo afirman Kollman (1959), Petroff y Doat (1978). Es así

que, según el análisis de variancia de la regresión lineal simple (Cuadro 5), se concluye que las variables carbono fijo y materias volátiles más cenizas del carbón tienen una influencia altamente significativa en la variación del PCS del carbón. Asimismo, la variable materias volátiles influye significativamente en la variación del PCS del carbón de las maderas estudiadas.

adro 3: VALORES DE CORRELACION (r) Y COEFICIENTE DE DETERMINACION (r²) DE LAS VARIABLES ESTUDIAD

VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLES INDEPENDIENTES								
	Lignina	Celulosa	Carbohidratos totales	Extractivos en A.B	Extractivos en agua	Lignina + ext .A.B	Cenizas madera	Silice	Densidad básica madera
r	0,35	-0,01	-0,5	0,20	0,01	0,47	0,32	0,34	0,91
Densidad aparente del carbón r ² (%)	12,25	0,01	25,00	4,00	0,01	22,09	10,24	11,56	82,81
r	0,48	-0,52	-0,63	0,13	0,55	0,52	0,60	0,58	0,08
Rendimiento de carbón r ² (%)	23,04	27,04	39,97	1,69	30,25	27,04	136,00	34,15	0,70
r	0,49	0,06	-0,51	-0,22	0,28	0,27	0,89	0,80	0,35
Cenizas de Carbón r ² (%)	24,01	39,97	26,01	4,84	7,84	7,29	79,21	64,00	12,25
r	0,28	-0,14	-0,15	-0,15	-0,01	0,12	10,13	0,37	0,08
Materias volátiles r ² (%)	7,84	1,96	2,25	2,25	0,01	1,44	11,69	13,69	0,64
r	25,00	0,09	0,39	26,00	-0,20	-0,24	-0,60	-0,67	-0,25
Carbono fijo r ² (%)	25,00	0,81	15,21	676,00	4,00	5,76	36,00	44,89	6,25
r	-0,65	0,28	0,48	0,23	-0,12	-0,40	-0,46	-0,32	-0,13
PCS del carbón (seco al horno) r ² (%)	42,89	7,88	22,87	5,92	1,39	15,71	20,95	10,05	1,68
r	-0,61	0,28	0,46	0,20	-0,11	-0,39	-0,42	-0,37	-0,15
PCS del carbón (Peco seco al aire) r ² (%)	37,21	7,84	21,16	4,00	1,21	15,21	17,64	13,69	2,25

**Cuadro 4: VALORES DE CORRELACION Y COEFICIENTE DE DETERMINACION DE LAS
VARIABLES
PODER CALORIFICO SUPERIOR Y CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LAS MADERAS
ESTUDIADAS**

VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLES INDEPENDIENTES					
	Cenizas	Materiales volátiles	carbono fijo	Materiales volátiles + Cenizas	Rendimiento o en peso de carbón	Densidad aparente de carbón
PCS r	-0,46	-0,7	0,77	-0,76	-0,71	-0,36
(Peso seco al horno) r ² (%)	21,46	48,70	59,00	58,00	50,41	12,96
PCS r	-0,46	-0,57	0,69	-0,67	-0,66	-0,32
(Peso seco al aire) r ² (%)	21,16	32,93	47,65	45,90	43,56	10,24

Categorización del carbón según su poder calorífico superior

Los resultados del poder calorífico superior (Cuadro 2) han permitido agrupar las especies maderables estudiadas en tres categorías; en la categoría A se incluyen las especies con PCS por encima de 8500 cal/g (Estoraque, Moena amarilla, Sapotillo y Fariña seca), en la categoría B las que poseen de 8000 a 8500 cal/g (Tamamuri, Palo santo y Mashonaste); y en la categoría C las que presentan valores por debajo de 8000 cal/g (Copal, Mojara caspi, Oreja de burro y Chemicua)

En resumen, las especies incluidas en las categorías A y B ofrecen muy buenas cualidades para ser empleadas como carbón o leña por su alto PCS. Las de la categoría C, son utilizables como energéticos, pero no posean muy buenas cualidades.

Cuadro 5. NIVEL DE SIGNIFICACION DEBIDO AL ANALISIS DE VARIANCIA DE LAS REGRESIONES LINEALES SIMPLES

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	NIVEL DE SIGNIFICACION	
		0,05	0,01
Densidad aparente del carbón	Densidad básica de la madera		**
Rendimiento de carbón	Carbohidratos totales de la madera	*	
Cenizas de carbón	Cenizas de la madera		**
	Sílice de la madera		**
Carbono fijo	Sílice de la madera	*	
Poder calorífico superior del carbón. (Peso seco al horno)	Rendimiento del Carbón	*	
	Materiales Volátiles	*	**
	Carbono fijo		**
	Materiales + Cenizas de		**

5. CONCLUSIONES

1.- De las maderas estudiadas, las que presentan los valores más altos de PCS del carbón son: "Estoraque", "Moena amarilla", "Sapotillo" y "Fariña seca".

2.- Entre la madera y el carbón de las especies estudiadas se han determinado las siguientes tendencias:

- La densidad de la madera respecto a la densidad de carbón, y las cenizas de la madera respecto a las cenizas del carbón guardan una relación directa; mientras que las cenizas de la madera respecto al contenido de carbono fijo del carbón, guardan una relación inversa.

- En cuanto a la lignina, los extractivos en agua y las cenizas de la madera, en relación con el rendimiento en peso del carbón es directa, mientras que con los carbohidratos totales o celulosa es inversa.

3.- En el carbón de las maderas estudiadas se han encontrado las siguientes tendencias:

- El rendimiento, el contenido de materias volátiles y cenizas, respecto al poder calorífico superior, guardan una relación inversa.

-El carbono fijo y el poder calorífico superior guardan una relación directa.

BIBLIOGRAFÍA

AGUINELIO, G.; BATISTA DE OLIVEIRA. 1980. Uso da Madeira para Fins Energeticos; Teoria da Carbonización da Madeira. Belo Horizonte, Fundação - Centro Tecnológico de Minas Gerais / CITEC. Serie Publicaciones Técnicas. pp. 29-41.

BATISTA DE OLIVEIRA.; VIVACQUA, F.; GUIMARAES, M.; AGUINELIO, G. 1983 Manual de carbón vegetal; Producción de carbón vegetal. Guatemala, I Curso sobre carbón vegetal para Centro América. OLACE / CETEC / FORESTAS ACESITA.- Aspectos técnicos pp. 38-65.

BRIANE, D.; DOAT, J. 1985. Guide Technique de la Carbonization; La Fabrication du Charbon de bols Franco, Agence française pour la maîtrise de l'énergie. Association Bols de Feu -Centro Technique Forestier Tropical. 180 p.

BRITO, J. O.; BARRICHEO, L. 1984 Estudio del comportamiento de las maderas de eucalipto frente al proceso de destilación seca. Brasil, Boletín técnico 8.

DOAT, J.; PETROFF, G. 1975. La Carbonización des Bois Tropicaux. Bois et Foret des Tropiques. N° 159. pp. 55-72.

EARL, D. 1975. Informe sobre el carbón vegetal. Roma, FAO. 94. P.

FAO. 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Roma. Estudio Montes. FAO. 154 p.

KOLLMAN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Madrid. 2da. Ed. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias al Servicio de la Madera. 789 p.

MARTINS, H. 1980. Uso da Madeira para fins Energeticos - Madeira como Fonte de Energia. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. pp 11-26

PETROFF, G.; DOAT, J. 1978. Pyrolyse des Bois Tropicaux Influence de la Composition Chimique des Bois sur les Produits de Distillation. Bois et Foret des Tropiques. N° 177.

REMIGIO, D. 1983 Rendimiento y calidad del carbón y análisis de líquido piroleñoso de cuatro maderas del Perú. Tesis Ingeniero Forestal. UNA La Molina 79 p.

ULLMAN, P. 1958. Enciclopedia de química industrial. Barcelona,(T-9) 2da.Ed. Gustavo Gill S.A. 866p.