

INFLUENCIA DEL SECADO NATURAL SOBRE LOS PARÁMETROS DE EFICIENCIA EN LA MADERA PARA COMBUSTIBLE

FRANCISCO MORALES HERNÁNDEZ,¹ MARÍA ANTONIA GUYAT DUPUY,² RAMÓN GONZÁLEZ PARADELA,² Y MARIANO PÉREZ SANTANA¹ Y

¹ Estación Experimental Forestal de Pinar del Río. Km 20½, Carretera Pinar del Río, Viñales, Cuba.

² Instituto de Investigaciones Forestales (IIF). Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Rpto. Siboney, Playa, La Habana, Cuba, c.e.:mguyat@forestales.co.cu.

RESUMEN

Con el objetivo de aumentar la eficiencia económica de la madera con fines energéticos –disminuyendo su humedad a parámetros adecuados– se estudiaron tres especies: Quercus oleoides sp. sagreana (encino), Eucalyptus pellita F. Muell. (eucalipto) y Casuarina equisetifolia Forst. (casuarina). Se determinaron los programas de secado natural, la pérdida de peso en función de la humedad y la eficiencia en los parámetros para la combustión directa y la carbonización, mediante un análisis económico simple que expresa un aumento de más del 50% de todos los parámetros de eficiencia económica, elevación de la calidad del carbón y una considerable reducción del volumen de madera, lo que se traduce en dejar de talar anualmente entre 4 000 y 5 000 ha de bosques con fines energéticos. Se recomienda, como mínimo, tres meses de secado natural de la madera para combustible.

ABSTRACT

In order to increase economic efficiency of fuelwood, reducing its humidity to appropriate parameters, three forest species were studied: Quercus oleoides sp. sagreana (encino), Eucalyptus pellita F. Muell (eucalipto) and Casuarina equisetifolia Forst. (casuarina). Natural drying programs, weight loss in relation to humidity and efficiency of parameters, an increase of charcoal quality and a significant reduction of wood volume which allows to discontinue pruning of 4 000-5 000 ha of wood for energetic purposes. Natural drying of fuelwood for a minimum of three months is recommended.

INTRODUCCIÓN

La contribución de la madera a los esfuerzos por mitigar los problemas energéticos mundiales es mucho mayor de lo que generalmente se

piensa. La leña y el carbón vegetal se han considerado, hasta hace poco tiempo, como simples combustibles de subsistencia; pero hoy no caben

dudas que son también los combustibles del futuro [Bonille y Gallo, 1993; Méndez *et al.*, 1995].

Se estima que 60% de toda la madera extraída en el mundo se quema como combustible, ya sea directamente o transformándola en carbón vegetal [Saínz y Quirós, 1995; Peltier *et al.*, 1995]. En América Latina casi un quinto del consumo energético es satisfecho con madera [FAO, 1985; González *et al.*, 1989]. En Cuba, a finales de la década del cincuenta, la madera para quemar representaba 80% del total extraído, y en 1989 no rebasaba 63,5%, pues fundamentalmente era destinada para la producción de azúcar. En la actualidad estos valores han aumentado debido a la escasez de oleocombustibles, por lo que nuevamente alcanza valores entre 75-80% del total de la madera talada, lo cual atenta contra el patrimonio forestal en muchas zonas [Lacasa, 1991].

La humedad adecuada, la densidad y las dimensiones de la leña son factores que poseen una marcada influencia en la eficiencia energética de la madera [Maggi y Partenaires, 1990; Trugilho *et al.*, 1997]. Este trabajo se limita a estudiar el primero de los factores mencionados, con el objetivo de lograr un uso racional de la leña como combustible directo o en su transformación a carbón vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Polígono de Carbonización perteneciente a la Estación Experimental Forestal de Pinar del Río, en

Viñales. Para ello se realizaron tres experimentos fundamentales y el análisis económico. Primeramente se determinaron los programas de secado natural de leña a partir del método de pesadas periódicas en las especies *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus pellita* y *Quercus oleoides*, con el empleo de la fórmula

$$Ua = \frac{Pa - Pi}{Pi} (Ui + 100)$$

donde

Ua: Humedad actual

Pa: Peso actual

Pi: Peso inicial

Ui: Humedad inicial de la madera (%)

Además, de forma periódica (*Tabla 1*), y para finalizar el experimento, se realizaron comprobaciones de la dinámica de la humedad de la madera, según el método de diferencias de pesadas a muestras expuestas en estufa a través de la fórmula

$$Ui = \frac{Pi - Pf}{Pf} \times 100$$

donde

Ui: Humedad inicial (%)

Pi: Peso inicial

Pf: Peso final

Posteriormente se formaron tres pilas de 1 m estéreo de cada especie mencionada, y se determinó la humedad de la leña mediante el último de los métodos ya expuestos. Se realizaron pesadas totales periódicas (*Tabla 1*) en una báscula de plataforma para determinar las variaciones de peso en función del porcentaje de humedad de la madera y el tiempo de secado.

El apilamiento de la madera se realizó a la intemperie bajo las siguientes condiciones climáticas medias: humedad relativa, 77%; temperatura del aire, 24,4°C; velocidad del viento, 8,2 km/h; tiempo de sol, 6,5 h; precipitación anual, 1 622 mm.

Para determinar la influencia de la humedad de la leña en los rendimientos de carbón vegetal se empleó leña de *Eucalyptus pellita* con siete años de edad. Las dimensiones oscilaron entre 4-18 cm de diámetro con una media general de 8 cm y 1 m de longitud. Esta leña se almacenó convenientemente y se le determinó el por ciento de humedad mediante los métodos descritos. Las carbonizaciones –seis en total– se realizaron atendiendo a diferentes por cientos de humedad en la madera, y se utilizó un horno experimental de ladrillos tipo colmena, con una capacidad potencial de 8 m³. Se obtuvieron además los parámetros de rendimientos y calidad de carbón.

Finalmente se realizó un análisis económico simple de la cuantía y estado de consumo de la leña combustible destinada a los centrales azucareros de la provincia de Pinar del Río. Para determinar la eficiencia económica, dada por la influencia de la disminución de la humedad de la leña en la producción de carbón vegetal, se aplicó un método convencional de costos-beneficios y se realizó un examen de la productividad del trabajo. Según González *et al.* (1989), los elementos de cálculo fueron:

- Tiempo de trabajo: 335 días.

- Peso de un saco de carbón: 37 kg.
- Precio del saco de carbón: 9.44 pesos.
- Costo de la leña (materia prima): 4.35 pesos/m³.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de los resultados se tomó como base lo expresado por Tillman [Maggi y Partenaires, 1991]. Se plantea que una madera anhidra, con 10% de humedad, produce en su combustión cerca de 16,7 MJ/kg con 60% de humedad, solo unos 6,3 MJ/kg de energía disponible. Según estos autores, para extraerle el agua a una madera con 60% de humedad se necesita emplear alrededor de 20% del poder calorífico disponible de la propia madera.

Por su parte, Briane y Doat (1985) expresan que el rendimiento de 1 m estéreo de leña para la producción de carbón vegetal, en función de la humedad de la madera, aumenta a medida que disminuye el por ciento de humedad y proporciona hasta 100 kg de carbón, pero con 80% de humedad. Como se observa, los rendimientos descienden a 45kg/m estéreo.

En la *Tabla 1* se aprecia que la leña, en un tiempo relativamente corto, alcanza el punto de saturación de la fibra (PSF), o sea, alrededor de 30% de humedad. Primeramente lo logra el eucalipto por ser una madera menos densa, y después el encino y la casuarina, expuestas todas a las mismas condiciones climáticas y al aire libre. A los noventa días de exposición se lograron humedades

TABLA 1
Programa de secado natural de la leña de las especies estudiadas y pérdida de peso por humedad

Especies	Días	Humedad de la leña (%)	Peso de 1 m estéreo de leña (kg)
<i>Eucalyptus pellita</i>	0	81,0	763,59
	14	42,8	
	28	31,1	
	31	36,0	536,45
	46	35,7	
	56	31,6	
	74	35,3	
	84	27,3	
	88	28,0	506,24
	101	21,0	
	110	20,1	4,99,29
<i>Casuarina equisetifolia</i>	0	65,0	712,93
	18	48,4	
	28	40,9	
	46	35,2	588,28
	56	30,2	
	68	23,8	562,43
	91	20,4	534,72
<i>Quercus oleoides</i>	0	54,0	501,25
	14	41,9	
	28	35,1	
	35	40,0	446,12
	42	29,9	
	60	31,8	
	70	32,6	
	88	27,2	
	98	27,1	427,49
	115	21,5	
	125	20,0	406,39

entre 20-28%, lo que proporciona un programa de secado natural para estas especies.

En la *Tabla 1* también se expone el comportamiento del secado de 1 m estéreo de leña de las especies objeto de estudio, en función del tiempo y de su peso. *Eucalyptus* reduce el peso en 35% a los ciento diez días, el *Quercus* disminuye 15 % de su peso en noventa y ocho días, y la *Casuarina* en 18% de su peso original en noventa y un días.

El análisis económico de la influencia de la humedad en la eficiencia de la leña para centrales azucareros se muestra en la *Tabla 2*. Como se puede apreciar, existen ahorros de 62,7-72,8% en todos los indicadores analizados, cuando la madera se seca de forma natural de 60 hasta 20%, con especial interés para la ecología. Los volúmenes de leña además disminuyen, y por ende las talas de bosques alrededor de un 60% [Comité Estatal de Precios, 1981].

TABLA 2

Análisis económico de la influencia de la humedad en la eficiencia de la leña para centrales azucareros

Indicadores	U/M	Humedad de la leña (%)				
		60-70	40-50	Ahorro (%)	20-30	Ahorro (%)
Volumen de leña necesario	Mm ³	33,2	17,4	47,5	12,4	62,7
Peso de la leña	Mt	52,1	21,7	53,9	14,2	72,8
Energía disponible	GJ	136,4	136,4		136,4	
Gastos de combustible en la transportación de la leña	t	591,5	310,4	47,5	220,7	62,7
Gastos en recursos humanos	Hombre/día	11 070	5 708	47,5	4 130	62,7
Gastos totales	MP	315,6	165,6	47,5	117,8	62,7

La *Tabla 3* refleja cómo mejoran los parámetros de explotación del horno experimental de ladrillos a medida que la humedad de la madera se acerca al intervalo de 20 a 30%,

en especial los por cientos de rendimiento del carbón vegetal y el tiempo de duración de la carbonización. Esto igualmente se puede observar en la *Tabla 4* para los aná-

lisis de calidad del carbón obtenido (análisis químico inmediato), lo que respalda que a menos humedad de

la madera, la calidad del carbón producido es mejor, a tenor con lo planteado por Guyat (1989).

TABLA 3
Resultados de los parámetros por tratamientos en función de la humedad de la leña

Parámetros	U/M	Tratamientos					
		1	2	3	4	5	6
Humedad de la leña	%	114	81,2	72,5	45,7	35,3	28,4
Tiempo de secado natural de la leña	Días	7	14	20	71	80	104
Volumen de la madera empleada	m(e)	4,6	4,8	4,7	4,8	4,7	4,5
Peso de la madera (base seca)	kg	1 486	1 708	1 820	1 779	1 750	1 630
Rendimiento de carbón (base seca)	%	17,6	20,8	22,4	23,2	25,2	28,7
Rendimiento de tizos (madera sin carbonizar)	%	2,3	1,8	4,1	6,9	9,8	8,8
Rendimiento de ciscos (finos)	%	1,2	1,1	0,8	0,4	0,5	0,5
Tiempo de carbonización	h	63:15	54:30	55:00	52:30	54:00	30:30
Tiempo del proceso total	Días	5,8	5,0	5,4	5,1	5,6	4,5

TABLA 4
Análisis químico de la calidad del carbón vegetal

Parámetros	U/M	Tratamientos		
		1 y 2	3 y 4	5 y 6
Contenido de cenizas	%	0,94	1,03	1,7
Materias volátiles	%	24,13	22,24	20,65
Carbono fijo	%	74,92	76,71	77,63

En la *Tabla 5* se observan los resultados del análisis económico sobre los elementos analizados, por lo que se destaca el aumento de los rendimientos de la producción, la

disminución del consumo de madera y el aumento de la productividad del trabajo, todo lo cual concuerda con lo obtenido por González *et al.* (1989).

TABLA 5
Análisis económico

Indicadores	U/M	Tratamientos					
		1	2	3	4	5	6
Producción de carbón por proceso	kg	240	325	396	411	440	466
Rendimientos volumétricos	%	32,6	43,7	48,9	50,0	55,3	68,9
Rendimientos de carbón en peso (base seca)	%	16,7	20,8	22,4	23,2	25,2	28,7
Consumo de madera/toneladas de carbón	m estéreo	18,4	13,7	11,5	11,7	10,7	9,6
Consumo de madera/toneladas de carbón	t	12,8	8,8	7,6	6,3	5,4	4,5
Consumo de madera/sacos de carbón	m estéreo	0,75	0,53	0,45	0,43	0,4	0,35
Volumen de producción anual	t	13,7	23,0	24,5	26,7	26	34,5
Valor de la producción anual	MP	3,5	5,9	6,3	6,8	6,6	8,8
Productividad del trabajo diario y físico	Sacos	1,1	1,9	2,0	2,1	2,1	2,88
Productividad del trabajo diario en valores	Pesos	10,4	17,9	18,9	19,8	19,8	26,4

CONCLUSIONES

- Se observa una influencia negativa de los altos por cientos de humedad en la madera para combustible directo y para la producción de carbón.
- La leña debe almacenarse, al menos durante tres meses, para alcanzar entre 20 y 30% de humedad, lo que facilita una pérdida de peso de 34%.
- Para las especies estudiadas se obtuvo un programa de secado.

- Del análisis económico elaborado a la leña combustible con destino a centrales azucareros, se concluye que con secarla solamente de 20 a 30% de Mm^3 ; 370,7 t de combustible en el proceso de tala y transporte, así como 197 800 pesos.
- El secado de la leña entre 20 y 30% de humedad para la producción de carbón aporta pérdidas de peso de la madera, lo que facilita su mejor manipulación, humaniza el trabajo y aumenta la capacidad de carga de los vehículos. Además, se reduce a 50 % el tiempo de carbonización y se duplican los rendimientos, y por consiguiente la producción de carbón vegetal. Por otra parte, el valor de la producción se eleva en 151,5% y los costos de la leña disminuyen en 37,5%.
- La productividad del trabajo se incrementa en 154% en unidades físicas, y en valores en 153% por trabajador. En general, todos los valores de eficiencia económica se elevaron en más de 50 % cuando se usó la leña seca (28,4% de humedad).
- La eficiencia energética, la silvicultura y el medio ambiente se favorecen, lo que proporciona un desarrollo sostenible de las reservas forestales al utilizar leña seca y no húmeda o verde.
- Se recomienda ordenar las tallas de leña para combustible o para la producción de carbón vegetal, de tal manera que puedan ser almacenadas adecuadamente al aire libre, como mini-

mo durante tres meses antes de ser utilizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- BONILLE, D.; G. GALLO: *Análisis de la contribución forestal a la producción de energía en América Latina*, t. 1 y 2, Roma, 1993.
- BRIANE, DOROSY; J. DOAT: *Guide technique de la carbonisation. La fabrication du charbon de bois*, París, 1985.
- COMITÉ ESTATAL DE PRECIOS: *Lista oficial de precios, tarifas de servicios técnicos productivos*, La Habana, 1981.
- FAO: *Programa de acción sobre leña y energía*, Comité de Desarrollo Forestal en los Trópicos, Roma, 1985.
- GONZÁLEZ, R. ET. AL.: «Reducción del volumen de leña por aumento de la eficiencia en la obtención de energía». *Memorias I Congreso Forestal de Cuba*, IIF, La Habana, 1989, pp. 64-73.
- GUYAT, MARÍA ANTONIA: «Estudio de la calidad del carbón vegetal de especies forestales de la Ciénaga de Zapata», La Habana (inédito).
- LACASA, A.: *Leña y carbón vegetal, sus perspectivas*, La Habana, 1991.
- MAGGI Y PARTENAIRES: *Biomasse énergie. Rapport sur la valorisation énergétique de la biomasse*, Suiza, 1990.
- MÉNDEZ, L. M. ET AL.: «Influencia do carvão vegetal no comportamento de um gaseificador-generador de energia eléctrica», *Rev. Arvore* 19 (4), Brasil, 1995.
- PELTIER, R.; A. BERTRAND; M. LAWALI ET AL.: «Marchés ruraux de Bois-énergie au Sahel, France», *Bois et Forêts des Tropiques* no. 245, III trimestre, 1995.
- SAINZ GRACE, P.; Q. Ligia Quirós: «Producción y comercialización de carbón en pequeñas empresas forestales: un estudio de caso de Villa Mills, Costa Rica», *Rev. Forestal Centroamericana* no. 12, año 4, 1995.
- TRUGILHO, P. F.; A. J. REQAZZI; B. ROCHA VITAL ET AL.: «Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus* e selecao de genótipos superiores para produção de carvão vegetal», *Rev. Arvore* 21 (1), Brasil, 1997.