



Evaluación del potencial bioenergético de plantaciones con especies nativas del Matorral Espinoso Tamaulipeco

Maginot Ngangyo Heya^a, Rahim Foroughbakhch Pournavab^a, Artemio Carrillo Parra^b, Jorge Alberto Villarreal Garza^a, Serafin Colín Urieta^b

^aDepartamento de Botánica, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ciudad Universitaria, C.P. 66450, San Nicolas de los Garza, Nuevo León, nheyamaginot@yahoo.fr, rahimforo@hotmail.com, Jorge.villarrealga@uanl.edu.mx.

^bLaboratorio de Tecnología de la madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Nacional, Km 145, C.P. 67700, Linares, Nuevo León, arte_carr@hotmail.com, serafinscu@hotmail.com.

RESUMEN:

La bioenergía contribuye con 17%-36% en el consumo mundial de energía primaria. Se estima que la biomasa debería abastecer el 60% de energías renovables, para evitar un calentamiento mayor a 2 °C para el año 2050. Esto requiere amplificar alternativas eficientes de producción de energía a partir de fuentes renovables. México dispone gran potencial de recursos forestales para producir biocombustibles, dentro de los cuales la madera representa el 54%, con un bajo aporte de plantaciones forestales (eucaliptos). La necesidad de darle mayor utilidad a plantaciones forestales con especies nativas es impostergable en la elaboración de perspectivas para el desarrollo bioenergético. En este sentido, se determinó el valor bioenergético de cinco especies nativas del Matorral Espinoso Tamaulipeco, *Acacia berlandieri* (Benth.), *Havardia pallens* (Benth.) Britton & Rose, *Helietta parvifolia* (Gray) Benth., *Ebenopsis ebano* (Berl.) Barneby y *Acacia wrightii* (Benth.) con base a la cantidad y calidad del carbón vegetal que producen. El rendimiento varió de 20 a 30 %, correspondientes a ramas de *A. berlandieri* y troncos de *A. wrightii*, respectivamente. La calidad se refirió a los porcentajes del contenido de humedad, materias volátiles, cenizas y carbón fijo, que presentaron los rangos 4.25 a 4.9 %, 12.29 a 22.28 %, 1.68 a 6.49 % y 68.26 a 81.34 %, respectivamente. El carbón fijo resultó ser el componente principal del carbón vegetal; con un contenido mayor a 70 % en general, induciendo un poder calorífico considerable con el promedio de 30000 KJ Kg⁻¹, conforme a las normas para emplearse con fines energéticas.

Palabras clave. Bioenergéticos, carbón vegetal, especies maderables, Matorral espinoso tamaulipeco.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de la biomasa, se obtiene la bioenergía que deriva de los biocombustibles sólidos como leña, carbón vegetal, residuos agrícolas, residuos forestales, pellets y briquetas; los biocombustibles líquidos como bioetanol y biodiesel; y los biocombustibles gaseosos como el biogás (González, 2009). A nivel mundial, la leña y otros productos de la madera son ampliamente utilizados, ya que se consideran una forma moderna y limpia para generar energía (Patiño y Smith, 2008). En México, la leña y el carbón representan el tercer lugar en volumen de extracción a nivel nacional con el 9.9%. (SEMARNAT 2007). Sin embargo, la producción y transformación mecánica de la madera generan volúmenes importantes de residuos que a menudo no son utilizados. Estos residuos son parte de la estructura de costos de producción, que absorbe los altos costos de extracción mecanizada y transporte para producir madera simplemente aserrada sin mayor valor agregado. La producción de carbón vegetal constituye una oportunidad para recuperación de estos



residuos. En este trabajo se analiza la perspectiva de obtención de biocombustibles a partir de especies nativas, adaptadas al hábitat, para no romper el equilibrio existente en la naturaleza. Se evalúa el potencial de las plantaciones de cinco especies nativas del Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET), como una alternativa en la generación de biocombustibles dentro de las líneas de acción establecidas por el Protocolo de Kioto para el desarrollo de proyectos energéticos sostenibles.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Recolección del material y preparación de la muestra

Se seleccionaron cinco especies características del MET, *Acacia berlandieri*, *Havardia pallens*, *Helietta parvifolia*, *Ebenopsis ebano* y *Acacia wrightii*, considerando su adaptabilidad y tasa de crecimiento, en plantaciones de 30 años del matorral-escuela de la Facultad de Ciencias Forestales en Linares, a 430-450 m de altitud, 24°47' de latitud norte y 99°32' longitud oeste.

Se utilizaron tres parcelas por especie y en cada una, se derribó un árbol representativo de la comunidad, sin defectos visibles. Se destrozaron los árboles en tronco y ramas, y se hicieron probetas de 2 cm de longitud que fueron acondicionadas en una cámara durante 30 días, antes de someterlas al proceso de carbonización, para su posterior análisis inmediato.

2.2. Proceso de carbonización

Se prepararon cinco muestras por parte de cada árbol (tronco y rama), que fueron carbonizadas mediante un cilindro metálico con tapa, en una mufla eléctrica a 650 °C durante tres horas.

2.3. Determinación del rendimiento en carbón

El carbón obtenido se acondicionó al medio ambiente para pesar, como al inicio, y calcular el rendimiento, mediante la ecuación:

$$\text{Rendimiento} = (\text{Peso de carbón}/\text{Peso seco de madera}) * 100\%$$

2.4. Análisis inmediatos

El carbón muestreado fue molido y cribado a 425µm, y se analizó mediante sus propiedades físico-químicas, de acuerdo a la norma internacional ASTM D 1762 – 84 (ASTM, 2001).

Tabla 1. Parámetros evaluados para los análisis inmediatos

Parámetro analizado	Ecuación	Observación
Contenido de humedad	$H = ((P_i - P_s)/P_i) * 100$	P _i peso inicial, P _s peso seco (estufa a 105°C), P _v peso del carbón después de someterla a 950° C en mufla, P _c peso cenizas (después de 750° C en estufa)
Materiales volátiles	$V = ((P_s - P_v)/P_s) * 100$	
Contenido de cenizas	$C = (P_c/P_v) * 100$	
Carbón fijo	$C_f = 100 - (H + V + C)$	
Poder calorífico	$PC = 354.3 C_f + 170.8 V$	

2.5. Análisis estadístico

Los datos porcentuales se transformaron mediante la función raíz cuadrada del arcoseno, y se realizaron pruebas de normalidad de Kolmogorov–Smirnov. El análisis estadístico se hizo con el programa Statgraphics, la comparación de medias según Tukey, a nivel de confianza 95% ($p < 0.05$)

2.6. Resultados y discusión

2.6.1. Rendimiento

El análisis de varianza señaló variación significativa ($P = 0.0138$) en rendimiento del carbón vegetal con respecto a las especies, mientras que las diferentes partes (tronco y ramas) presentaron resultados similares ($P = 0.3079$).

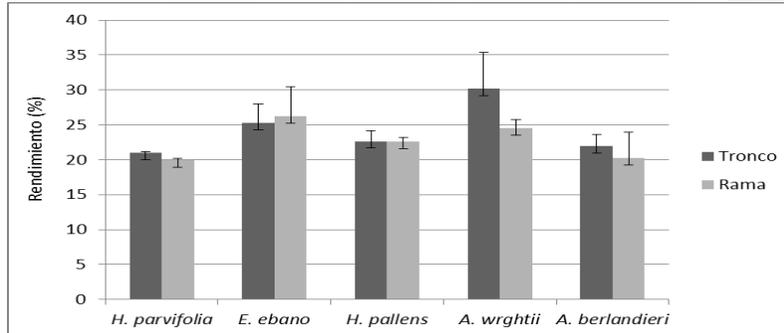


Figura 1. Rendimiento en carbón vegetal de cinco especies del Matorral espinoso tamaulipeco

El valor más alto correspondió a *A. wrightii* con 30 % de carbón vegetal producido por su tronco, y el valor más bajo, a *H. parvifolia* con 19.94 % en sus ramas. Estos valores corroboran los trabajos de Corradi *et al.* (2013), quienes indican que el rendimiento del carbón comercial no supera el 30%, porque la materia prima influye en el rendimiento, y debido al proceso de conversión utilizado.

3.5.2. Propiedades fisico-químicas

El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre especies, para todos los parámetros estudiados, mientras que las partes no presentaron variaciones significativas ($P > 0.05$) para los contenidos de humedad y de cenizas.

Tabla 2. Análisis de varianza (P) y propiedades fisico-químicas de tronco y ramas de cinco especies del matorral espinoso tamaulipeco

Propiedades fisico- químicas	Especies										Significancia P	
	<i>H. parvifolia</i>		<i>E. ebano</i>		<i>H. pallens</i>		<i>A. berlandieri</i>		<i>A. wrightii</i>		Entre especies	Entre partes
	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R		
Humedad (%)	4.89±0.23	4.93±0.014	4.26±0.09	4.26±0.22	4.26±0.14	4.42±0.60	4.78±0.04	4.95±0.22	4.91±0.16	4.61±0.16	0.0000	0.8252
Volátiles (%)	12.79±1.43	12.29±0.77	12.86±1.58	15.84±3.17	14.46±0.21	16.03±1.34	17.51±0.83	22.28±2.41	13.93±1.68	12.37±0.49	0.0000	0.0052
Cenizas (%)	4.27±2.69	4.20±0.95	4.16±1.01	5.06±1.22	4.81±0.58	6.50±0.38	4.64±0.10	4.51±1.25	2.06±1.38	1.68±0.60	0.0000	0.1698
Carbón fijo (%)	78.05±3.71	78.58±1.62	78.71±2.67	74.84±4.29	76.46±0.92	73.05±0.96	73.07±0.72	68.26±2.72	79.10±3.10	81.34±1.05	0.0000	0.0060
Poder calorífico (kj kg ⁻¹)	29839±1130	29940±453	30085±676	29221±980	29561±291	28620±225	28878±112	27992±650	30403±834	30933±290	0.0000	0.0125

Las letras T y R representan las partes tronco y ramas del árbol.

Con el valor mayor de 4.95 % presentado por ramas de *A. berlandieri*, y el valor menor de 4.26 % para ramas como troncos de *E. ébano* y troncos de *H. pallens*, el contenido de humedad del carbón vegetal resultó ser menor a 8%, en conformidad a lo establecido en las normas internacionales, y de acuerdo con Carrillo *et al.* (2013) quienes definieron el carbón vegetal como un material con bajo porcentaje de humedad y poca higroscopicidad. En estas condiciones, el producto es más resistente a la biodegradación, y difícilmente alterable con las condiciones atmosféricas normales y no es atacado por los agentes biológicos que atacan la madera.

Los valores del contenido de volátiles fluctuaron de 12.29 a 22.28%, el mayor correspondiente a ramas de *A. berlandieri*. Estos valores son inferiores al rango 20-30% establecido por Williamson (2006) para la fracción volátil del carbón, con excepción a las ramas de *A. berlandieri*. Los troncos de *E. ebano*, *H. pallens* y *A. berlandieri* mostraron un contenido de materiales volátiles menor al de



sus ramas, presentando de esa manera una ventaja desde el punto de vista energético, porque se queman más lento que las ramas, que tienen mayor cantidad de volátiles, como indicaron Cuvilas *et al.* (2014) que las especies con menor material volátil se queman más lento que aquellas con mayor material. El resultado de este bajo porcentaje de materiales volátiles es una combustión limpia, cuidadosa del medio ambiente y clave para el uso eficiente del recurso, que es importante según Luxán y Jiménez (2003) para emplearse en las centrales termoeléctricas.

En cuanto al contenido de cenizas, los valores mayor y menor fueron de 6.49 y 1.68 %, presentados en ramas de *H. pallens* y *A. wrightii*, respectivamente. Según Cuvilas *et al.* (2014), el combustible con bajo contenido de ceniza es deseable; ya que su acumulación ensucian los intercambiadores de calor y obstruyen el flujo de gases de combustión, con el riesgo de causar problemas en los reactores (Werkelin *et al.*, 2011). Responde a esta expectativa, la especie *A. wrightii*, respectivamente con los valores de 2.05 y 1.68 %. La especie *H. pallens* generó cantidad elevada de cenizas, lo que representa un desafío para la industria química y la producción de energía, debido a los costos y logística para su colecta, transporte, manipulación y almacenamiento (Kargbo *et al.*, 2009). Además, la ceniza tiene una reacción alcalina que cuando se mezcla con el agua, el pH de la solución se incrementa e induce la corrosión del metal (Karlton *et al.*, 2008). Por eso, Obernberger *et al.* (2006) señalaron que la determinación de la concentración y composición de cenizas es esencial para la elección de tecnologías de combustión y de depuración de gases apropiadas.

El menor porcentaje de carbón fijo se registró en las ramas de *A. berlandieri*, con el valor de 68.26 %. Demirbas (2003) señala que un bajo contenido de carbón fijo aumenta la friabilidad y fragilidad; y disminuye la resistencia a la compresión y cohesión. Las especies *H. parvifolia*, *E. ebano*, *A. wrightii* y el tronco de *H. pallens* presentaron un porcentaje superior a 75 %, como lo exige el mercado europeo para utilizar el carbón con fines industriales (Carrillo *et al.*, 2013).

El poder calorífico fluctuó entre 28000 y 30932 KJ Kg⁻¹, valores que corresponden a las ramas respectivas de *A. berlandieri* y *A. wrightii*. Estos datos son parecidos a los que reportaron Masera *et al.* (2005), entre 29000 y 35000 KJ kg⁻¹, presentando el carbón vegetal como una fuente importante de energía.

Extender la producción y el uso de carbón vegetal hasta el que produzcan las ramas, podría disminuir la intensidad de la explotación del recurso, que generalmente se hace solo buscando el tronco, que es la parte más densa del árbol. Esta alternativa da mayor utilidad a las especies que producen muchos rebrotes, con pequeños diámetros, reduciendo la presión que se ejerce sobre las especies a fuste grande.

3. CONCLUSIONES

La producción de carbón resulta ser una buena opción para la generación de energía, ya que se presentó en este estudio como un combustible eficiente, por su contenido considerable en carbono, que induce su alto poder calorífico. El carbón de todas las especies estudiadas en el presente trabajo, tanto del tronco como de las ramas, resultó adecuado para uso doméstico o industrial, ya que es conforme a lo establecido en las normas internacionales. Al seleccionar estas especies para utilizarlas como combustible biomásico, contribuye ineluctablemente al desarrollo socio económico, sin comprometer la existencia del recurso, y cuidando al mismo tiempo la sanidad del ambiente para el bienestar del poblador.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D 1762-84, 2001. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. American Society for Testing and Materials.
- Carrillo, A.; Foroughbakhch Pournavab, R.; Bustamante García, V., 2013. Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M.C. Johnst. Y *Ebenopsis ébano* (Berland.)



- Barneby & J.W. Grimes elaborado en horno tipo fosa. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(17): 62-71.
- Cavazos, M. T. and Molina, V., 1992. Registros climatológicos de la región citrícola de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. *Boletín Técnico* No 1: 1-65.
- Cordero, T., F. Marquez, J. Rodriguez-Mirasol and J. J. Rodriguez, 2001. Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel*. 80(11):1567-1571.
- Corradi-Pereira, B. L.; Carneiro, A.; Carvalho, A.; Coldette, J.; Costa Oliveira, A.; Fontes, M., 2013. Influence of chemical composition of *Eucalyptus* wood on gravimetric yield and charcoal properties. *BioResources* 8(3): 1-19.
- Cuvilas, C.; Lhate, I.; Jirjis, R.; Terziev, N., 2014. The characterization of wood species from Mozambique as a fuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, utilization, and environmental effects*. 36(8): 851-857.
- Demirbas, A., 2003. Sustainable cofiring of biomass with coal. *Energy Conversion and Management*. 44 (9):1465-1479.
- González, M. E., 2009. Producción de bioenergía en el norte de México: Tan lejos y tan cerca. Nota crítica. *Frontera Norte*, Vol. 21, Núm. 41, Enero - Junio de 2009. Pp.177 183. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. p. 91.
- INEGI, 2013. Estadísticas a propósito del día mundial forestal. Aguascalientes, AGS. <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/estadisticas/2013/forestal0.pdf>
- Jenkins, B. M.; Baxter, L. L.; Koppejan, J., 2011. Biomass Combustion. En: Brown, R. C. (Ed.) *Thermochemical Processing of Biomass, Conversion into Fuels, Chemicals and Power*. Department of Mechanical Engineering, Iowa State University. Iowa. pp 13-33.
- Kargbo, F. R., J. Xing and Y. Zhang, 2009. Pretreatment for energy use of rice straw: A review. *African Journal of Agricultural Research*. 4(13):1560-1565.
- Karlton, E., A. Saarsalmi, M. Ingerslev, M. Mandre, S. Andersson, T. Gaitnieks, R. Ozolinus, and I. Varnagiryte-Kabasinskiene, 2008. Wood Ash Recycling – Possibilities And Risks. Sustainable Use of Forest Biomass for Energy. In: Röser, D., A. Asikainen, K. Raulund-Rasmussen K. and I. Stupak, (eds.). Springer Netherlands. pp. 79-108.
- Luxán, B. A. and Jiménez, A. M., 2003. Energías e impacto ambiental. Equipo Sirius. Pp 5-143
- Márquez-Montesino, F., T. Cordero A., J. Rodríguez-Mirasol and J. J. Rodríguez Jiménez, 2001. Estudio del potencial energético de biomasa *Pinus caribea* Morelet var. *caribea* (Pc) y *Pinus tropicalis* orelert (Pt); *Eucalyptus saligna* Smith (Es), *Eucalyptus citrodora* Hook (Ec) y *Eucalyptus pellita* F. Muell (Ep); de la Provincia de Inar del Río. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(1): 83-89
- Masera, O. R., Aguillón, J. and Gamino, B., 2005. Estimación del recurso y prospectiva tecnológica de la biomasa como energético renovable en México. Anexo. 2. pp118.
- Obernberger, I.; Brunner, T.; Bärnthaler, G., 2006. Chemical properties of solid biofuels, significance and impact. *Biomass and Bioenergy* 30(11): 973-982.
- Patiño, D. J. F. and R. Smith Q., 2008. Consideraciones sobre la dendroenergía bajo un enfoque sistémico. *Revista Energética*. 39 p.
- SEMARNAT, 2007. Anuario Estadístico de la Producción Forestal.
- Werkelin, J., D. Lindberg, D. Boström, B. J. Skrifvars and M. Hupa., 2011. Ash-forming elements in four Scandinavian wood species part 3: Combustion of five spruce samples. *Biomass and Bioenergy*. 35 (1): 725-733.
- Williamson, C., 2006. The Energy Sector: A Hidden Goliath. In: JCF Walker (Ed.) *Primary Wood Processing*. 2nd Ed. Dordrecht. The Netherlands: Springer. New York. Pp 535-556.