



Artículo / Article

Caracterización energética de la madera de *Acacia pennatula* Schldl. & Cham. y *Trema micrantha* (L.) Blume

Energetic characterization of the wood of *Acacia pennatula* Schldl. & Cham. and *Trema micrantha* (L.) Blume

Flora Apolinar Hidalgo¹, José Amador Honorato-Salazar*¹ y Gertrudis Colotl Hernández¹

Resumen

La biomasa de los árboles es utilizada, principalmente, como combustible sólido en las comunidades rurales para cocinar y calentar, pero también puede ser usada para producir combustible líquido y gaseoso. En México, los estudios de propiedades energéticas de la madera, como materia prima para combustible, aún son limitados; por lo cual, el objetivo de este trabajo fue caracterizar energéticamente la madera de *Acacia pennatula* y *Trema micrantha* en términos de su poder calorífico, contenido de humedad, densidad básica y análisis proximal, con base en las normas ASTM. A los datos de las diferentes determinaciones se les realizó un análisis de varianza, seguido de una comparación de medias con la prueba de t ($\alpha = 0.05$). La madera de las especies mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en todas las características energéticas determinadas. En promedio, la de *Acacia pennatula* tuvo un poder calorífico de $18.54 \text{ KJ g}^{-1} \text{ cal g}^{-1}$, un contenido de humedad de 9.15 %, densidad básica de 0.571 g cm^{-3} , 86.56 % de material volátil, 1.07 % de cenizas y 12.37 % de carbono fijo; y la madera de *Trema micrantha* registró un poder calorífico de 17.76 KJ g^{-1} , un contenido de humedad de 8.25 %, densidad básica de 0.243 g cm^{-3} , 82.90 % de material volátil, 0.79 % de cenizas y 16.31 % de carbono fijo. El índice de valor de combustible fue de 10 814 para *A. pennatula* y de 9 345 para *T. micrantha*. El valor de poder calorífico y el análisis proximal de la madera de ambas taxa permite considerarlo como materia prima para la producción de energía, aunque por la densidad básica, la de *A. pennatula* puede ser más idónea para su uso como combustible.

Palabras clave: Carbono fijo, cenizas, densidad básica, índice de valor de combustible, latifoliadas, leña.

Abstract

Tree biomass is used primarily as solid fuel in the rural communities for purposes of cooking and heating, but it can also be used to produce fluid and gaseous fuel. Studies on the energetic properties of the wood as raw material for fuel are still limited in Mexico; therefore, the objective of the present work was to characterize the wood of *Acacia pennatula* and *Trema micrantha* energetically in terms of heat value, moisture content, basic density and proximal analysis, according to the ASTM norms. The data of the various assessments were subjected to a variance analysis, followed by a mean comparison with the t test ($\alpha = 0.05$). The wood of these species showed significant differences ($p < 0.05$) in all the assessed energetic characteristics. In average, the wood of *Acacia pennatula* had a heat value of $18.54 \text{ KJ g}^{-1} \text{ cal g}^{-1}$, a moisture content of 9.15 %, a basic density of 0.571 gm^{-3} , 86.56 % of volatile matter, 1.07 % ashes and 12.37 % fixed carbon, while the wood of *Trema micrantha* had a heat value of 17.76 KJg^{-1} , a moisture content of 8.25 %, a basic density of 0.243 g cm^{-3} of volatile matter, 0.79 % ashes and 16.31 % fixed carbon. The fuel value index was 10 814 for *A. pennatula* and 9 345 for *T. micrantha*. Because of its heat value and its proximal analysis, the wood of both taxa can be considered as raw material for the production of energy, although, due to its basic density, the wood of *A. pennatula* can be more appropriately used as fuel.

Key words: Fixed carbon, ashes, basic density, fuel value index, broadleaves, firewood.

Fecha de recepción/Reception date: 14 de octubre de 2015; Fecha de aceptación/Acceptance date: 10 de diciembre de 2016.

¹ Campo Experimental San Martinito, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, INIFAP, México. Correo-e: honorato.amador@inifap.gob.mx

* autor para correspondencia

Introducción

Las necesidades del consumo energético y la preservación del medio ambiente, han llevado a buscar fuentes de energía renovables. Al respecto, el uso de la madera ha ganado importancia a nivel mundial y ha estimulado una mayor investigación, ya que es una materia prima esencial en el suministro de energía para muchos sectores en el mundo, como el industrial, el comercial, para el transporte y familiar, este último especialmente en las comunidades rurales de los países en desarrollo que emplean la biomasa de los bosques como una fuente energética para cocinar y calentar alimentos (FAO, 2008).

La madera se usa para producir diferentes tipos de combustibles: sólidos, líquidos y gaseosos (Trossero, 2002) y tiene aplicaciones en la energía térmica (agua o aire caliente, vapor), la eléctrica, la cogeneración de calor e incluso en la energía mecánica (Nogués y Herrer, 2002).

El uso racional y adecuado de la madera como fuente de energía debe guiarse por el crecimiento y desarrollo de la especie, y por sus propiedades energéticas. El poder calorífico, es una de las variables más estudiadas para evaluar la energía y el potencial energético de la especie, principalmente como leña (Shanavas y Kumar, 2003; Nirmal *et al.*, 2011); sin embargo, otras propiedades: la densidad básica, los contenidos de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo tienen que considerarse para evaluar y determinar la idoneidad de una madera para su uso como combustible (Nirmal *et al.*, 2011; Sotelo *et al.*, 2012). Algunas de estas propiedades se han tomado en cuenta para evaluar la madera de ramas de una gran diversidad de taxa arbóreo y arbustivo empleados como leña en la India, en donde se ha llevado a cabo la mayor parte de la investigación de la madera como combustible doméstico (Chettri y Sharma, 2007; Bhatt *et al.*, 2010; Nirmal *et al.*, 2011; Sahoo *et al.*, 2014; Sedai *et al.*, 2016; Bhatt *et al.*, 2017).

Los valores promedio de poder calorífico de la madera, en base anhídrida, oscilan entre 18.0 y 20.72 KJ g⁻¹, el más alto corresponde a las coníferas por el contenido de resinas, respecto a las latifoliadas (Vignote y Martínez, 2006).

Aunque el poder calorífico en peso es mayor en la madera de coníferas, debido a la presencia de ácidos resínicos; a nivel volumétrico, la densidad energética de la biomasa procedente de las latifoliadas con alta densidad es más significativa y relevante desde el punto de vista cuantitativo, que las diferencias registradas en el poder calorífico, ya que la energía por unidad de volumen es mayor y su combustión es más lenta (Sotelo *et al.*, 2012; Ortiz, 2013).

Los valores promedio de poder calorífico que se citan para diferentes taxa de *Acacia* son de 19.41 ± 1.53 KJ g⁻¹,

Introduction

The energetic consumption and environmental preservation needs have led to seek sources of renewable energies. In this regard, the use of wood has gained importance at world level and has stimulated further research, as it is an essential raw material for supplying energy to many sectors in the world, including the industrial, commercial, transportation and family sectors; this last sector is particularly important in rural communities of those developing countries that use the biomass of forests as a source of energy for cooking and heating food (FAO, 2008).

The wood is used to produce various types of fuels: solid, fluid and gaseous (Trossero, 2002), and has applications in thermal (hot water or air, steam) and electric energy, the cogeneration of heat, and even mechanical energy (Nogués and Herrer, 2002).

The rational, appropriate use of wood as a source of energy must be guided by the growth and development of the species and by its energetic properties. The heat value is one of the most widely studied variables for the assessment of the energy and energetic potential of the species, primarily as firewood (Shanavas and Kumar, 2003; Nirmal *et al.*, 2011). However, other properties --basic density, moisture contents, ashes, volatile materials and fixed carbon-- must be considered when assessing and determining the suitability of a particular wood for use as fuel (Nirmal *et al.*, 2011; Sotelo *et al.*, 2012). Some of these properties have been taken into account to assess the wood of the branches of a wide variety of tree and shrub taxa used as firewood in India, where most of the research on wood for household use (Chettri and Sharma, 2007; Bhatt *et al.*, 2010; Nirmal *et al.*, 2011; Sahoo *et al.*, 2014; Sedai *et al.*, 2016; Bhatt *et al.*, 2017).

The average heat values of the wood in an anhydrous base range between 18.0 and 20.72 KJ g⁻¹; the highest value corresponds to conifers, due to their resin content, and the lowest, to broadleaves (Vignote and Martínez, 2006).

Although the heat value in weight is higher in the wood of conifers, due to the presence of resin acids, at the volumetric level, the energy density of the biomass from highly dense broadleaves is more significant and quantitatively relevant than the registered differences in heat value, since the energy per volume unit is higher and the combustion is slower (Sotelo *et al.*, 2012; Ortiz, 2013).

The mean heat values cited for different *Acacia* taxa are 19.41 ± 1.53 KJg⁻¹, with a variation of 7.9 %. These values depend on the species, the height, the conditions for growth, the part and the position of the tree from which the sample was taken, its age and spacing (Espinoza *et al.*, 1989; Farfán *et al.*, 1989; Vale *et al.*, 2000; Katakai and Konwer, 2002; Shanavas and Kumar, 2003; Quirino *et al.*, 2004; Manrique

con una variación de 7.9 %. Estos valores dependen de la especie, la altura, las condiciones de crecimiento, la parte y posición del árbol de donde se toma la muestra, la edad y el espaciamiento (Espinoza et al., 1989; Farfán et al., 1989; Vale et al., 2000; Katakí y Konwer, 2002; Shanavas y Kumar, 2003; Quirino et al., 2004; Manrique et al., 2009; Kumar et al., 2011; Nirmal et al., 2011; Barros, S. V. dos S. et al., 2012; Agostinho-Da Silva et al., 2014; Nasser y Aref, 2014; Eloy et al., 2015; Ngangyo-Heya et al., 2016).

La madera como fuente de energía, principalmente como leña o carbón, aporta 80 % de la energía usada en los hogares rurales de México (Díaz y Maserá, 2003) y algunos municipios del país tienen áreas críticas por su índice de prioridad de leña, el cual relaciona su consumo y la disponibilidad de recursos forestales. En el estado de Veracruz, los municipios Zongolica y Naranjal son de alta prioridad, cuyo consumo anual de leña proveniente de áreas forestales es de 277 y 272 Mg año⁻¹, respectivamente (Maserá et al., 2004). En la región de Zongolica, existen alrededor de 25 especies que son las más utilizadas como leña en las zonas rurales, destacan *Acacia pennatula* Schlttdl. & Cham. y *Trema micrantha* (L.) Blume (Honorato, 2010).

A pesar de la importancia de las especies que se utilizan como combustible en México, en particular en la región de Zongolica, existe poca información sobre las propiedades energéticas de la madera que se usa como leña, las cuales son importantes para elegir los taxa que producen leña de mayor calidad; por ello, el objetivo de este trabajo fue caracterizar energéticamente la madera de *Acacia pennatula* y *Trema micrantha* provenientes de Zongolica y Naranjal del estado de Veracruz, así como comparar sus valores, con el fin de proporcionar datos técnicos que permitan seleccionar mejor las especies para usarlas como combustible.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron al azar de cinco a siete ramas de tres árboles de *Acacia pennatula* y *Trema micrantha*. Los individuos de *A. pennatula* se colectaron en el municipio Zongolica, Ver.; mientras que los de *T. micrantha* en los municipios Zongolica y Naranjal, Ver. Las coordenadas de los sitios de colecta se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Coordenadas geográficas de los sitios de colecta.

Árbol	<i>Acacia pennatula</i> Schlttdl. & Cham.		<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	18°40'29.3" N	96°58'55.5" O	18°40'58.3" N	96°59'21.0" O
2	18°40'31.0" N	96°59'00.7" O	18°40'14.5" N	96°58'50.8" O
3	18°40'20.0" N	96°58'56.2" O	18°47'11.7" N	96°56'29.8" O

et al., 2009; Kumar et al., 2011; Nirmal et al., 2011; Barros, S. V. dos S. et al., 2012; Agostinho-Da Silva et al., 2014; Nasser and Aref, 2014; Eloy et al., 2015; Ngangyo-Heya et al., 2016).

Wood as a source of energy, primarily as firewood or charcoal, contributes 80 % of the energy used in the rural households of Mexico (Díaz and Maserá, 2003), and certain municipalities of the country have critical areas due to their firewood priority index, which relates the consumption to the availability of forest resources. In the state of Veracruz, the municipalities of Zongolica and Naranjal are a high priority, and their annual consumption of firewood from forest areas is 277 and 272 Mg year⁻¹, respectively (Maserá et al., 2004). In the Zongolica region, approximately 25 species are the most commonly used as firewood in rural areas, among which *Acacia pennatula* Schlttdl. & Cham. and *Trema micrantha* (L.) Blume are prevalent (Honorato, 2010).

Despite the importance of the species used as fuel in Mexico, particularly in the Zongolica region, there is little information regarding the energetic properties of the timber used as firewood; yet, these are important for choosing the taxa that will produce the highest quality firewood. Therefore, the purpose of this work was to determine the energetic characteristics of the wood of *Acacia pennatula* and *Trema micrantha* from Zongolica and Naranjal, in the state of Veracruz, as well as to compare between the values for the two species, in order to provide technical data that may allow a better selection of the species to be used as fuel.

Materials and Methods

Five to seven branches of *Acacia pennatula* and *Trema micrantha* trees were selected. *A. pennatula* individuals were collected in the municipality of Zongolica, Veracruz, while *T. micrantha* specimens were collected in the municipalities of Zongolica and Naranjal, Veracruz. The coordinates of the collection sites are shown in Table 1.



Table 1. Geographic coordinates of the collection sites.

Tree	<i>Acacia pennatula</i> Schltld. & Cham.		<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
1	18°40'29.3" N	96°58'55.5" W	18°40'58.3" N	96°59'21.0" W
2	18°40'31.0" N	96°59'00.7" W	18°40'14.5" N	96°58'50.8" W
3	18°40'20.0" N	96°58'56.2" W	18°47'11.7" N	96°56'29.8" W

El clima en las zonas de muestreo de los sitios de colecta corresponde al tipo semicálido húmedo (A) C (m), con temperatura media anual superior a 18 °C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor a 22 °C (Inegi, 2008); vegetación arbórea secundaria de selva alta perennifolia (Conafor, 2014); suelo dominante Luvisol crómico, de textura fina para el sitio 3 de *T. micrantha* y Regosol dístico, de textura fina para el resto de los sitios (Inegi, 2014).

Los árboles seleccionados fueron de 5 a 10 m de altura, sanos y ramificados. Las ramas elegidas midieron de 5 a 10 cm de grosor. Tres ramas de mayor diámetro se cortaron a 1.0 m de largo, a partir de la base y se descortezaron para después obtener una sección transversal a 10 cm de los extremos con ellas se determinó la densidad básica, mediante el método de inmersión, de acuerdo con los procedimientos de la norma ASTM D2395 (ASTM, 2009a). El resto de las ramas fueron cepilladas en un canteador eléctrico *Mizutti* de dos cuchillas para obtener viruta, la cual se secó a temperatura ambiente (20 °C), se mezcló y molió en un molino tipo *Thomas Wiley*. La madera molida se tamizó en mallas de los números 40 (0.425 mm) y 60 (0.250 mm).

El poder calorífico se obtuvo con pastillas comprimidas de madera molida de 0.9 a 1 g, en un calorímetro de bomba (Isoperibol, Parr 1266) con base en la norma ASTM E711 (ASTM, 2000), y a las instrucciones de operación del calorímetro (Parr, 1999), a una temperatura de 30 ± 0.5 °C. Paralelamente se registró el contenido de humedad (C. H.) de las muestras en una balanza de humedad *Ohaus MB45*®, previamente calibrada.

Para el análisis proximal (material volátil, cenizas y carbono fijo) se utilizó el material molido y retenido en la malla 60; se realizaron cuatro repeticiones por determinación para cada árbol. El análisis proximal se llevó a cabo con base en las normas ASTM: la norma E871 para el contenido de humedad (ASTM, 2012b); E872 para material volátil (ASTM, 2012c); D1102 para cenizas (ASTM, 2009b); y E870 para carbono fijo (ASTM, 2012a).

The climate in the sampling areas of the collection sites corresponds is semi-warm humid (A) C (m, with a mean annual temperature above 18 °C, and a temperature below 18 °C during the coldest month and above 22 °C during the warmest month (Inegi, 2008); secondary tree vegetation in high deciduous rainforest (Conafor, 2014); chromic Luvisol with a fine texture as the dominant soil type at *T. micrantha* site 3, and fine Dystric regosol at the remaining sites (Inegi, 2014).

The selected trees had a height of 5 to 10 m and were healthy and ramified. The chosen branches were 5 to 10 cm thick. Three branches with a larger diameter were cut at a length of 1.0 m from the base and were debarked in order to obtain a cross-section at 10 cm of the ends, with which the basic density was determined using the immersion method, according to the procedures of the norm ASTM D2395 (ASTM, 2009a). The rest of the branches were planed down with a *Mizutti* twin-blade edger in order to obtain shavings; these were dried at room temperature (20 °C) and mixed and ground in a *Thomas Wiley* type mill. The ground wood was sieved using No. 40 (0.425 mm) and No.60 (0.250 MM) meshes.

The heat value was estimated using 0.9 to 1 g compressed ground wood tablets, in a pump calorimeter (Isoperibol, Parr 1266), based on the norm ASTM E711 (ASTM, 2000), and on the operation instructions of the calorimeter (Parr, 1999), at a temperature of 30 ± 0.5 °C. At the same time, the moisture content (M. C.) of the samples was registered in a previously calibrated *Ohaus MB45*™ moisture scale.

The ground material retained in the No. 60 mesh was used for the proximal analysis (volatile matter, ashes and fixed carbon); four repetitions were carried out per assessment for each tree. The proximal analysis was performed based on the ASTM norms: norm E871 for the moisture content (ASTM, 2012b); E872 for the volatile material (ASTM, 2012c); D1102 for the ashes (ASTM, 2009b), and E870 for fixed carbon (ASTM, 2012a).



El índice de valor de combustible (IVC) se calculó con la relación (Deka et al., 2007):

$$IVC = \frac{\text{Poder calorífico (KJ/g)} \times \text{Densidad básica (g/cm}^3\text{)}}{\text{Contenido de humedad (g/g)} \times \text{Cenizas (g/g)}} \quad (1)$$

Se aplicó un análisis de varianza y después una prueba de t ($\alpha = 0.05$) con el programa SAS (SAS, 2000).

Resultados

En el Cuadro 2 se resumen los estadísticos del análisis de varianza. Hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada una de las determinaciones en la madera de *Acacia pennatula* y *Trema micrantha*.

La densidad básica, el poder calorífico, el contenido de humedad, el IVC, el material volátil y la cantidad de cenizas presentaron valores superiores en la madera de *Acacia pennatula* (cuadros 3 y 4). En contraste, la madera de *Trema micrantha* registró mayor contenido de carbono fijo (Cuadro 4).

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza de la madera de *Acacia pennatula* Schlttdl. & Cham. y *Trema micrantha* (L.) Blume para las diferentes determinaciones realizadas.

	Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Poder calorífico	Especie	1	4.11	4.11	10.7	0.0031
	Error	25	9.60	0.38		
	Total corregido	26	13.70			
Contenido de humedad	Especie	1	4.42	4.42	10.51	0.0041
	Error	22	8.41	0.42		
	Total corregido	23	12.83			
Densidad básica	Especie	1	1.05	1.05	521.55	< 0.0001
	Error	78	0.16	0.00		
	Total corregido	79	1.21			
Material volátil	Especie	1	64.29	64.29	110.06	< 0.0001
	Error	22	10.51	0.58		
	Total corregido	23	74.80			
Cenizas	Especie	1	0.37	0.37	13.40	0.0018
	Error	22	0.50	0.03		
	Total corregido	23	0.87			
Carbono fijo	Especie	1	74.45	74.45	159.14	< 0.0001
	Error	22	8.42	0.47		
	Total corregido	23	82.87			

The fuel value index (FVI) was estimated using the following equation (Deka et al., 2007):

$$FVI = \frac{\text{Heat value (KJ/g)} \times \text{Basic density (g/cm}^3\text{)}}{\text{Moisture content (g/g)} \times \text{Ashes (g/g)}} \quad (1)$$

The analysis of variance was followed by a t test ($\alpha = 0.05$) using the SAS software (SAS, 2000).

Results

Table 2 summarizes the statistics of the analysis of variance. There were significant differences ($p < 0.05$) for each one of the determinations for the wood of *Acacia pennatula* and *Trema micrantha*.

Higher values of basic density, heat value, moisture content, FVI, volatile material and amount of ashes were found in the wood of *Acacia pennatula* (tables 3 and 4). However, the wood of *Trema micrantha* had a higher content of fixed carbon (Table 4).

Table 2. Summarized variance analysis of the various determinations performed in the wood of *Acacia pennatula* Schltdl. & Cham. and *Trema micrantha* (L.) Blume.

	Source of variation	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr>F
Heat value	Species	1	4.11	4.11	10.7	0.0031
	Error	25	9.60	0.38		
	Corrected total	26	13.70			
Moisture content	Species	1	4.42	4.42	10.51	0.0041
	Error	22	8.41	0.42		
	Corrected total	23	12.83			
Basic density	Species	1	1.05	1.05	521.55	< 0.0001
	Error	78	0.16	0.00		
	Corrected total	79	1.21			
Volatile material	Species	1	64.29	64.29	110.06	< 0.0001
	Error	22	10.51	0.58		
	Corrected total	23	74.80			
Ashes	Species	1	0.37	0.37	13.40	0.0018
	Error	22	0.50	0.03		
	Corrected total	23	0.87			
Fixed carbon	Species	1	74.45	74.45	159.14	< 0.0001
	Error	22	8.42	0.47		
	Corrected total	23	82.87			

Cuadro 3. Poder calorífico, densidad básica e índice de valor de combustible de la madera.

Especie	Poder calorífico (KJ g ⁻¹)	C. H. (%)	Densidad básica (g cm ⁻³)	IVC
<i>Acacia pennatula</i> Schltdl. & Cham.	18.54 ± 0.72 A †	9.15 ± 0.48 A	0.571 ± 0.035 A	10 813
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	17.76 ± 0.46 B	8.25 ± 0.81 B	0.343 ± 0.051 B	9 347

† = Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes (p ≤ 0.05).

Table 3. Heat value, basic density and fuel value index of the wood.

Species	Heat value (KJg ⁻¹)	M C. (%)	Basic density (gcm ⁻³)	FVI
<i>Acacia pennatula</i> Schltdl. & Cham.	18.54 ± 0.72 A †	9.15 ± 0.48 A	0.571 ± 0.035 A	10 813
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	17.76 ± 0.46 B	8.25 ± 0.81 B	0.343 ± 0.051 B	9 347

† = Values with the same latter do not differ significantly (p ≤ 0.05).



Cuadro 4. Análisis proximal de la madera.

Especie	Material Volátil*	Cenizas*	Carbono fijo*
<i>Acacia pennatula</i> Schltld. & Cham.	86.56 ± 0.93 A †	1.07 ± 0.20 A	12.37 ± 0.81 A
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	82.90 ± 0.36 B	0.79 ± 0.05 B	16.31 ± 0.41 B

* = Con base en el peso anhidro de las muestras.

† = Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Table 4. Proximal analysis of the wood.

Species	Volatile Matter*	Ashes*	Fixed carbon*
<i>Acacia pennatula</i> Schltld. & Cham.	86.56 ± 0.93 A †	1.07 ± 0.20A	12.37 ± 0.81 A
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	82.90 ± 0.36 B	0.79 ± 0.05B	16.31 ± 0.41B

* = Based on the anhydrous weight of the samples.

† = Values with the same letter do not differ significantly ($p \leq 0.05$).

Discusión

El poder calorífico de un material es una medida de su contenido energético o valor del calor liberado cuando se quema en el aire e indica el potencial de calentamiento al usarlo como combustible (McKendry, 2002; Carbon Trust, 2009). En este trabajo, el poder calorífico de la madera de *A. pennatula* fue de 18.54 KJ g⁻¹, valor mayor a 17.38 KJ g⁻¹, obtenido por Farfán *et al.* (1989), para ramas de la misma especie. Para taxa de *Acacia*, en México, el valor también es más alto que los obtenidos para el fuste (17.38 KJ g⁻¹) de *Acacia cochliacantha* (Farfán *et al.*, 1989), así como para el fuste y ramas de *Acacia berlandieri* (17.64 KJ g⁻¹ y 7.22 KJ g⁻¹); así como para *Acacia wrightii* (17.93 KJ g⁻¹ y 17.89 KJ g⁻¹) (Ngangyo-Heya *et al.*, 2016).

Espinoza *et al.* (1989), documentan el poder calorífico en un intervalo de 19.23 a 20.20 KJ g⁻¹ para *Acacia retinoides*, los cuales superan a los citados en *A. pennatula*; el cual también coincide con lo consignado (16.92 a 26.63 KJ g⁻¹) para la madera del fuste y ramas de *Acacia* spp. de otros países (Vale *et al.*, 2000; Katakí y Konwer, 2002; Shanavas y Kumar, 2003; Quirino *et al.*, 2004; Manrique *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2011; Nirmal *et al.*, 2011; Barros, S. V. dos S. *et al.*, 2012; Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014; Nasser y Aref, 2014; Eloy *et al.*, 2015).

Costa (2011) en un estudio con *T. micrantha* señala para la madera del fuste un poder calorífico de 18.93 KJ g⁻¹; menor al obtenido en este estudio (17.76 KJ g⁻¹); sin embargo, es superior a 16.07 KJ g⁻¹ y a 15.45 KJ g⁻¹, citado para la madera del fuste de la misma especie y para *T. orientalis*, respectivamente (Moreno y Garay, 1989; Shanavas y Kumar, 2003).

El contenido de humedad en la madera afecta, negativamente, el valor calorífico, debido a la cantidad de energía que se

Discussion

The heat power of a material is a measure of its energetic content or the value of the heat released when the material is burnt in the air, and it is indicative of its heating potential when used as fuel (McKendry, 2002; Carbon Trust, 2009). In this work, the heat value of the wood of *A. pennatula* was 18.54 KJ g⁻¹, which is higher the 17.38 KJ g⁻¹ estimated by Farfán (1989) for branches of the same species. The value for *Acacia taxa* in Mexico is also higher than those obtained for the stem (17.38 KJ g⁻¹) of *Acacia cochliacantha* (Farfán, 1989), as well as for the stem and branches of *Acacia berlandieri* (17.64 KJ g⁻¹ and 7.22 KJ g⁻¹) and for *Acacia wrightii* (17.93 KJ g⁻¹ and 17.89 KJ g⁻¹) (Ngangyo-Heya *et al.*, 2016).

According to Espinoza *et al.* (1989), the heat value for *Acacia retinoides* ranges between 19.23 and 20.20 KJ g⁻¹; these values are higher than those cited for *A. pennatula*. This also agrees with the values (16.92 to 26.63 KJ g⁻¹) estimated for the wood of the stem and branches of *Acacia* spp. of other countries (Vale *et al.*, 2000; Katakí and Konwer, 2002; Shanavas and Kumar, 2003; Quirino *et al.*, 2004; Manrique *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2011; Nirmal *et al.*, 2011; Barros, S. V. dos S. *et al.*, 2012; Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014; Nasser and Aref, 2014; Eloy *et al.*, 2015).

Costa (2011) registers a heat value of 18.93 KJ g⁻¹ for the wood of the stem of *T. micrantha*. This value is lower than the one estimated in the present study (17.76 KJ g⁻¹); however, it is higher than 16.07 KJ g⁻¹ and 15.45 KJ g⁻¹, cited for the wood of the stem of the same species and of *T. orientalis*, respectively (Moreno and Garay, 1989; Shanavas and Kumar, 2003).

The moisture content of the wood affects the heat value negatively because of the amount of energy required to evaporate the water. The higher this amount is, the less efficient the wood is as fuel, for its net heat value decreases (Bhatt *et al.*,

necesita para evaporar el agua. A medida que es más alto, la madera es menos eficiente como combustible, ya que el valor calorífico neto por el calentamiento se reduce (Bhatt *et al.*, 2010). En la evaluación de la madera de las especies para su uso como combustible, el contenido de humedad no debe ser considerado como parte del valor intrínseco de una especie, ya que la humedad varía con las dimensiones de la madera, la parte del árbol, la estación del año y las condiciones ambientales (Bhatt *et al.*, 2010; 2017).

Para evitar el efecto de la humedad, en la presente investigación, el contenido de humedad se determinó en las muestras secadas en condiciones similares y aun así se observaron diferencias, el mayor fue para la madera de *Acacia pennatula* (9.15 %) que en la de *Trema micrantha* (8.25 %), lo cual puede deberse a las diferencias en densidad básica y en su estructura anatómica (Rowell, 2005).

La densidad básica es una propiedad física que se utiliza para evaluar la madera como combustible y junto con el poder calorífico determinan su densidad energética, que es una medida de la energía almacenada por unidad de volumen (Carbon Trust, 2009). En la madera de *Acacia pennatula* su valor fue de 0.571 g cm^{-3} , la cual es mayor a la que cita Espinoza *et al.* (1989), para el fuste de *Acacia retinoides* (0.530 g cm^{-3}), pero menor a lo determinado para las ramas de *Acacia auriculiformis* (0.850 g cm^{-3}) (Kataki y Konwer, 2002), *Acacia leucophloea* (0.932 g cm^{-3}) (Nirmal *et al.*, 2011) y $0.900\text{-}0.966 \text{ g cm}^{-3}$ (Kataki y Konwer, 2002; Nirmal *et al.*, 2011); sin embargo, está dentro del intervalo de 0.405 a 0.990 g cm^{-3} , que se registra para el fuste de varias especies de *Acacia* (Vale *et al.*, 2000; Shanavas y Kumar, 2003; Quirino *et al.*, 2004; Manrique *et al.*, 2009; Nirmal *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2011; Barros *et al.*, 2012; Agostinho-Da Silva, 2014; Nasser y Aref, 2014; Eloy *et al.*, 2015).

La madera de *Trema micrantha* tuvo una densidad básica de 0.343 g cm^{-3} , la cual es superior a lo indicado (0.239 g cm^{-3}) por Moreno y Garay (1989), aunque menor a lo obtenido (0.364 g cm^{-3}) por Costa (2011); Shanavas y Kumar (2003) también señalan un valor mayor de 0.430 g cm^{-3} para *T. orientalis*.

Existen diferentes índices de valor de combustible utilizado para cuantificar y comparar la calidad de la madera como combustible (Deka *et al.*, 2007), pero el más usado es el señalado en la expresión (1). El índice de valor de combustible (IVC) de la madera de *Acacia pennatula* fue de 10 813 y *Trema micrantha* de 9 347. Los valores obtenidos superan a los indicados (597-1 999) por Manrique *et al.* (2009) y Shanavas y Kumar (2003) para algunas *Acacia* spp., y por Shanavas y Kumar (2003) para *Trema orientalis* (975); sin embargo están dentro del intervalo superior (5 403 - 11 596) documentado para otras especies de latifoliadas (Chettri y Sharma, 2007). Las diferencias en este índice se deben a que es afectado por los contenidos de humedad y ceniza (Deka *et al.*, 2007).

2010). In the assessment of the wood of the above species as fuel, the moisture content must not be regarded as part of the intrinsic value of a given species, because the moisture content varies according to the dimensions of the wood, the part of the tree, the season of the year and the environmental conditions (Bhatt *et al.*, 2010; 2017).

In order to avoid the effect of moisture, in the present research the moisture content was determined in samples dried under similar conditions; however, some differences could still be observed. The moisture content of the wood of *Acacia pennatula* (9.15 %) was higher than that of *Trema micrantha* (8.25 %); this may be due to the differences in their basic density and in their anatomic structure (Rowell, 2005).

Basic density is a physical property utilized to evaluate the wood as fuel, and, along with the heat value, it determines its energetic density --a measure of the energy stored per unit of volume (Carbon Trust, 2009). Its value in the wood of *Acacia pennatula*, 0.571 g cm^{-3} , was higher than the value quoted by Espinoza *et al.* (1989) for the stem of *Acacia retinoides* (0.530 g cm^{-3}), but lower than that determined for the branches of *Acacia auriculiformis* (0.850 g cm^{-3}) (Kataki and Konwer, 2002), *Acacia leucophloea* (0.932 g cm^{-3}) (Nirmal *et al.*, 2011) and $0.900\text{-}0.966 \text{ g cm}^{-3}$ (Kataki and Konwer, 2002; Nirmal *et al.*, 2011). However, it is within the interval of 0.405 to 0.990 g cm^{-3} registered for the stem of various *Acacia* species (Vale *et al.*, 2000; Shanavas and Kumar, 2003; Quirino *et al.*, 2004; Manrique *et al.*, 2009; Nirmal *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2011; Barros *et al.*, 2012; Agostinho-Da Silva, 2014; Nasser and Aref, 2014; Eloy *et al.*, 2015).

The wood of *Trema micrantha* had a basic density of 0.343 g cm^{-3} , above the value (0.239 g cm^{-3}) registered by Moreno and Garay (1989), but lower than that (0.364 g cm^{-3}) estimated by Costa (2011); Shanavas and Kumar (2003) also point out a value above for *T. orientalis*.

Different fuel value indices are used to quantify and compare between the qualities of wood as fuel (Deka *et al.*, 2007); however, the most commonly utilized is the one indicated in the expression (1). The fuel value index (FVI) of the *Acacia pennatula* wood was 10 813, and that of *Trema micrantha* was 9 347. The estimated values are above those indicated (597-1 999) by Manrique *et al.* (2009) and Shanavas and Kumar (2003) for certain *Acacia* spp., and by Shanavas and Kumar (2003) for *Trema orientalis* (975). However, they are within the higher interval (5 403 - 11 596) documented for other broadleaf species (Chettri and Sharma, 2007). The differences in this index are due to the fact that it is affected by the moisture and ash contents (Deka *et al.*, 2007).

The proximal analysis is used to characterize the biomass as fuel, and it determines the content of volatile material (VM),

El análisis proximal se usa para caracterizar la biomasa como combustible, y en él se determinan los contenidos de material volátil (MV), cenizas (Ce) y carbono fijo (CF), expresados con base en el peso anhidro. Si se emplea como referencia el peso húmedo, se incluye el contenido de humedad (Jameel *et al.*, 2010).

El material volátil de un combustible es la porción de gases y vapores condensables y no condensables que se libera cuando se calienta el combustible a un tiempo y temperatura específicos (Basu, 2013). Para la madera de *Acacia pennatula*, su valor fue de 86.56 %, el cual es más alto a lo registrado para *A. mearnsii* (75.3-82.3 %) (Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014; Eloy *et al.*, 2015) y para *A. auriculaeformis* (81.3-84.8 %) (Kumar *et al.*, 2011). En lo que respecta a la madera de *Trema micrantha*, se carece de información en la literatura; sin embargo; los valores determinados están dentro de los intervalos de 79.1 a 85.8 % consignados para otras latifoliadas (Kumar *et al.*, 2011; Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014).

La ceniza es el residuo sólido inorgánico que resulta después de quemar completamente el combustible, contiene metales alcalinos, sílice y otros materiales inorgánicos (Basu, 2013). El contenido de cenizas en la madera de *Acacia pennatula* (1.07 %) fue más alto a 0.30 -0.74 % y 0.33-0.66 %, señalados para *A. auriculaeformis* y *A. mearnsii*, respectivamente (Kumar *et al.*, 2011; Eloy *et al.*, 2015); aunque, más bajo que el indicado (1.4-4.0 %) en otras especies de *Acacia* (Manrique *et al.*, 2009; Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014; Nasser and Aref, 2014). El contenido de cenizas consignado para *Trema micrantha* fue de 1.92 % (Costa, 2011), mientras que para *T. orientalis* es de 1.20 % (Shanavas y Kumar, 2003), el cual es superior al determinado, en este estudio para *Trema micrantha* (0.79 %).

El carbono fijo es el residuo carbonoso sólido de la liberación de los volátiles de la biomasa, excluye las cenizas y la humedad (McKendry, 2002). La cantidad de carbono fijo para la madera de *Acacia pennatula* fue de 12.37 %, cuyo valor es menor a los citados de 14.4 % para *A. auriculaeformis* (Kumar *et al.*, 2011), de 20.9 % para *A. mangium* (Barros *et al.*, 2012) y de 16.9 a 23.2 % para *A. mearnsii* (Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014; Eloy *et al.*, 2015). En *Trema micrantha* se estimó 16.31 % de carbono fijo, que está dentro de los valores de 13.7 a 19.7 % obtenidos para la madera de otras latifoliadas (Kumar *et al.*, 2011; Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014).

Conclusiones

La madera *Acacia pennatula* y *Trema micrantha* presenta diferencias en sus propiedades energéticas.

El valor de poder calorífico, el contenido de cenizas, material volátil y carbono fijo en la madera de las especies estudiadas permite considerarlas como fuente de materia prima para la obtención de combustibles. Y los valores de energía, así como

ashes (As) and fixed carbon (FC) expressed according to the anhydrous weight. Whenever the fresh weight is used as a reference, the moisture content is included (Jameel *et al.*, 2010).

The volatile material of a fuel is the portion of condensable and non-condensable vapors released when the fuel is heated at a specific temperature during a given amount of time (Basu, 2013). The value for the wood of *Acacia pennatula* was 86.56 %, i.e. higher than that registered for *A. mearnsii* (75.3-82.3 %) (Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014; Eloy *et al.*, 2015) and for *A. auriculaeformis* (81.3-84.8 %) (Kumar *et al.*, 2011). As for the wood of *Trema micrantha*, no information is contained in literature. However, the estimated values are within the ranges of 79.1 to 85.8 % registered for other broadleaves (Kumar *et al.*, 2011; Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014).

Ashes are the inorganic solid residue that results from totally burning the fuel; it contains alkaline metals, silica and other inorganic materials (Basu, 2013). The ash content in the wood of *Acacia pennatula* (1.07 %) was higher than the 0.30 -0.74 % and 0.33-0.66 % registered for *A. auriculaeformis* and *A. mearnsii*, respectively (Kumar *et al.*, 2011; Eloy *et al.*, 2015), but lower than the value indicated for other *Acacia* species (Manrique *et al.*, 2009; Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014; Nasser and Aref, 2014). The ash content registered for *Trema micrantha* was 1.92 % (Costa, 2011), and that estimated for *T. orientalis* was 1.20 % (Shanavas and Kumar, 2003), i.e. higher than the value determined in the present study for *Trema micrantha* (0.79 %).

Fixed carbon is the solid carbonaceous residue from the release of the volatile materials of the biomass; it excludes the ashes and the moisture (McKendry, 2002). The amount of fixed carbon for the wood of *Acacia pennatula* was 12.37 %, a lower value than those of 14.4 % cited for *A. auriculaeformis* (Kumar *et al.*, 2011); of 20.9 %, for *A. mangium* (Barros *et al.*, 2012), and of 16.9 to 23.2 %, for *A. mearnsii* (Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014; Eloy *et al.*, 2015). The value of fixed carbon determined in *Trema micrantha* was 16.31 %; this is within the values of 13.7 to 19.7 % obtained for the wood of other broadleaves (Kumar *et al.*, 2011; Agostinho-Da Silva *et al.*, 2014).

Conclusions

The wood of *Acacia pennatula* and that of *Trema micrantha* differ in their energetic properties.

Due to their heat value, the contents of ashes, volatile material and fixed carbon in the wood of the studied species, these may be regarded as sources of raw materials for the obtainment of fuels. Their energetic values and the fuel value index correspond to the intervals registered by other authors for the wood of broadleaves.

el índice de valor de combustible corresponden a los intervalos registrados por otros autores para la madera de latifoliadas.

Si se considera la densidad básica y el poder calorífico, la madera de *Acacia pennatula* es la más idónea para usarse como combustible doméstico, ya que proporciona mayor energía por metro cúbico.

Agradecimientos

A los Fondos Sectoriales CONAFOR-CONACYT y CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energético por el apoyo financiero para la realización de este estudio a través de los proyectos 42011 y 151370.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Flora Apolinar Hidalgo: preparación de muestras para el análisis proximal, determinación de densidad básica, cenizas, contenido de humedad y carbono fijo, redacción del manuscrito; José Amador Honorato-Salazar: colecta y muestreo en campo, procesamiento de muestras, análisis de datos, redacción y corrección final del manuscrito; Gertrudis Colotl Hernández: preparación de muestras y determinación de poder calorífico.

Referencias

- Agostinho-Da Silva, D., B. Otomar-Caron, C. R. Sanquetta, A. Behling, D. Schmidt, R. Bamberg, E. Eloy y A. P. Dalla-Corte. 2014. Ecuaciones para estimar el poder calorífico de la madera de cuatro especies de árboles. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(2): 177-86.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000. Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. ASTM E711, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.04. West Conshohocken, PA, USA, pp. 265-271.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2009a. Standard Test Methods for specific gravity of wood and wood-Based Materials. ASMT D2395, Annual Book of ASMT Standards, Vol. 4.10. West Conshohocken, PA, USA, pp. 357-364.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2009b. Standard test method for ash in wood. ASTM D1102, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.10. West Conshohocken, PA, USA, pp. 174-175.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2012a. Standard test methods for analysis of wood fuels. ASTM E870, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16. West Conshohocken, PA, USA, pp. 96-97.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2012b. Standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels. ASTM E871, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16. West Conshohocken, PA, USA, pp. 98-99.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2012c. Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels. ASTM E872, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16. West Conshohocken, PA, USA, pp. 100-02.
- Barros, S. V. dos S., C. C. do Nascimento e C. P. de Azevedo. 2012. Caracterização tecnológica da madeira de três espécies florestais cultivadas no amazonas: alternativa para produção de lenha. *FLORESTA* 42(4): 725-732.

Its basic density and heat value render the wood of *Acacia pennatula* the most appropriate for use as a domestic fuel, because it provides the largest amount of energy per cubic meter.

Acknowledgements

The authors wish to express their gratitude to the Conafor-Conacyt and Conacyt-Sener-Sustentabilidad Energética Sectorial Funds for the financial support they provided to this study through projects 42011 and 151370.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests.

Contribution by author

Flora Apolinar Hidalgo: handling of samples for the proximal analysis, calculation of basic density, ashes, moisture content and fixed carbon, writing of the manuscript; José Amador Honorato-Salazar: collection and sampling in the field, sample processing, data analysis, writing and final correction of the manuscript; Gertrudis Colotl Hernández: handling of the samples and calculation of the heating potential.

End of the English version



- Basu, P. 2013. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory. Academic Press, Burlington, MA, USA, pp. 27-63.
- Bhatt, B. P., S. K. Sarangi and L. C. De. 2010. Fuelwood characteristics of some firewood trees and shrubs of Eastern Himalaya, India. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 32(5): 469-474.
- Bhatt, B. P., M. Lemtur, S. Changkija y B. Sarkar. 2017. Fuelwood characteristics of important trees and shrubs of Eastern Himalaya. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 39(1): 47-50.
- Carbon Trust. 2009. Biomass heating: A practical guide for potential users. In-depth guide; CTG012. The Carbon Trust, London, UK. 90 p. https://www.carbontrust.com/media/31667/ctg012_biomass_heating.pdf (28 de octubre de 2016)
- Chettri, N. and E. Sharma. 2007. Firewood value assessment: A comparison on local preference and wood constituent properties of species from a trekking corridor, West Sikkim, India. *Current Science* 92(12): 1744-1747.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2014. Carta de recursos forestales del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Datos vectoriales escala 1:250,000. Coordinación General de Planeación e Información de la Comisión Nacional Forestal. http://187.178.171.22/OpenData/Inventario/Carta_Recursos_Forestales_2011-2012/ (2 de agosto de 2015).
- Costa, T. G. 2011. Propriedades da madeira de espécies do cerrado mineiro e sua potencialidade para geração de energia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. 75 p.
- Deka, D., P. Saikia and D. Konwer. 2007. Ranking of fuelwood species by fuel value index. *Energy sources, Part A*. 29:1499-1506.
- Díaz, J. R. y O. Maserá C. 2003. Uso de la leña en México: situación actual, retos y oportunidades. In: Secretaría de Energía, Subsecretaría de Política Energética y Desarrollo Tecnológico (ed). Balance nacional de energía 2002. SENER, México, D. F., México, pp. 99-109.

- Eloy, E., D. A. da Silva, B. Otomar C. e V. Q. de Souza. 2015. Capacidade energética da madeira e da casca de acácia-negra em diferentes espaçamentos. *Pesquisa Florestal Brasileira* 35(82): 163-167.
- Espinoza, A. J., Vera, C. G., Carrillo, A. F. y C. Rodríguez F. 1989. Evaluación de plantaciones de *Acacia retinoides* Schlecht. con fines de producción de leña combustible. In: Zavala, C. F. (comp.). Memorias de la Primera Reunión Nacional Sobre Dendroenergía. 8 y 9 de noviembre de 1989. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 27-39.
- Farfán V., E., A. Sánchez V. y M. Moreno S. 1989. Estudio de cuatro especies de valor dendroenergético del Alto Balsas Poblano. In: Zavala C., F. (comp.). Memorias de la Primera Reunión Nacional Sobre Dendroenergía. 8 y 9 de noviembre de 1989. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 391-397.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2008. Bosques y energía. Cuestiones clave. Estudio FAO: Montes 154. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 69 p.
- Honorato S., J. A. 2010. Evaluación de especies nativas con fines dendroenergéticos en la Sierra de Zongolica, Veracruz. Informe Técnico Final del proyecto CONAFOR-2006-42011. INIFAP. San Martinito, Pue., México. 40 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2008. Unidades climáticas. Conjunto de datos vectoriales, escala 1:1 000 000. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/> (23 de marzo de 2016).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2014. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional). http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx (24 de junio de 2016).
- Jameel, H., D. R. Keshwani, S. F. Carter and T. H. Treasure. 2010. Thermochemical conversion of biomass to power and fuels. In: Cheng, J. (ed.). Biomass to renewable energy processes. Taylor and Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, USA. pp. 437-489.
- Kataki, R. and D. Konwer. 2002. Fuelwood characteristics of indigenous tree species of North-East India. *Biomass and Bioenergy* 22: 433 - 437.
- Kumar, R., K. K. Pandey, N. Chandrashekar and S. Mohan. 2011. Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. *Biomass and Bioenergy* 35: 1339-1344.
- Manrique, S., J. Franco, V. Núñez, y L. Seghezzeo. 2009. Índice de valor combustible de arbustales naturales y su potencialidad como cultivos energéticos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 13: 47-56.
- Masera, O. R., G. Guerrero, A. Ghilardi, A. Velázquez, J. F. Mas, M. J. Ordóñez, R. Drigo and Miguel A. Trossero. 2004. Fuelwood "hot spots" in Mexico: a case study using wisdom - woodfuel integrated supply-demand overview mapping. UNAM-FAO Wood Energy Programme. Rome, Italy. 89 p.
- McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37-46.
- Moreno C., A. M. y M. S. Garay M. 1989. Uso de plantas para combustible en dos comunidades nahuas: Santa María Cuauhtapanaloyan y Santiago Yancuictlalpan, Municipio de Cuentalán, Puebla. In: Zavala, C. F. (comp.). Memorias de la Primera Reunión Nacional Sobre Dendroenergía. 8 y 9 de noviembre de 1989. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 8-15.
- Nasser, R. A.-S. and I. M. Aref. 2014. Fuelwood characteristics of six acacia species growing wild in the southwest of Saudi Arabia as affected by geographical location. *BioResources* 9(1):1212-1224.
- Ngangyo-Heya, M., R. Foroughbahchik-Pournavab, A. Carrillo-Parra, J. G. Rutiaga-Quiñones, V. Zelinski and L. F. Pintor-Ibarra. 2016. Calorific Value and Chemical Composition of Five Semi-Arid Mexican Tree Species. *Forests* 7(3): 58. doi:10.3390/f7030058.
- Nirmal K., J. I., K. Patel, R. N. Kumar and R. Kumar B. 2009. An assessment of Indian fuelwood with regards to properties and environmental impact. *Asian Journal on Energy and Environment* 10(02): 99-107.
- Nirmal, K. J. I., K. Patel, R. N. Kumar and R. Kumar B. 2011. An evaluation of fuelwood properties of some Aravally mountain tree and shrub species of Western India. *Biomass and Bioenergy* 35: 411-414.
- Nogués, F. S. y J. R. Herrero. 2002. Generalidades, ciclo energías renovables, jornadas de biomasa. Fundación CIRCE. Zaragoza, España. 17 p.
- Ortiz, T. L. 2013. Estudio de caracterización de las biomasa forestales de interés energético existentes en el sur de Galicia y norte de Portugal. Universidad de Vigo. Vigo, España. 12 p.
- Parr. 1999. 1266 Isoperibol Bomb Calorimeter. Operating Instruction Manual. Technical Note No. 367M. Parr Instrument Company. Moline, IL, USA. 111 p.
- Quirino, W. F., A. T. Vale, A. P. A. Andrade, V. L. S. Abreu y A. C. S. Azevedo. 2004. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. *Biomassa and Energia* 1(2): 173-182.
- Rowell, R. M. 2005. Moisture Properties. In: Rowell, R. M. (ed.) Handbook of wood chemistry and wood composites. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. pp. 77-98.
- Sahoo, U. K., J. Lalremruata and H. Lalramnginglova. 2014. Assessment of fuelwood based on community preference and wood constituent properties of tree species in Mizoram, North-East India. *Forests, Trees and Livelihoods* 23(4): 280-288.
- Statistical Analysis System (SAS). 2000. The SAS system for windows (Version 8.0 for Windows). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. n/p.
- Sedai, P., D. Kalita and D. Deka. 2016. Assessment of the fuel wood of India: A case study based on fuel characteristics of some indigenous species of Arunachal Pradesh. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 38(7): 891-897.
- Shanavas, A. and B. M. Kumar. 2003. Fuelwood characteristics of tree species in homegardens of Kerala, India. *Agroforestry Systems* 58: 11-24.
- Sotelo M., C., J. C. Weber, D. A. Silva, C. Andrade, G. I. B. Muñoz, R. A. Garcia and A. Kalinganire. 2012. Effects of region, soil, land use, and terrain type on fuelwood properties of five tree/shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali. *Annals of Forest Science* 69: 747-756.
- Trossero, M. A. 2002. Dendroenergía: perspectivas de futuro. *Unasylva* 211(53): 3-12.
- Vale, A. T., M. A. M. Brasil, C. M. Carvalho y R. A. A. Veiga, 2000. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. *CERNE* 6(1): 83-88.
- Vignote, P. S. y R. I. Martínez. 2006. Tecnología de la madera. Ediciones Mundi-Prensa. 3ª Ed. Madrid, España. 678 p.

