



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-550

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
**Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017**  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Evaluación del uso energético de la madera de *Moringa oleifera*

GODINO, M., VILLEGAS, S. e IZQUIERDO, M.I.

Depto. Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. U. Politécnica de Madrid. [miguel.godino@upm.es](mailto:miguel.godino@upm.es)

### Resumen

*Moringa oleifera* es una planta que ha sido introducida y estudiada en gran cantidad de regiones tropicales y subtropicales, especialmente por su alto valor nutritivo, empezándose a cultivar en la actualidad en España. Destaca su facilidad de cultivo, crecimiento rápido y gran versatilidad. Sus múltiples usos hacen de ella un cultivo atractivo en diferentes campos tanto de la alimentación, humana o animal, como en el de la cosmética, los biocombustibles o el farmacéutico. Otros usos no comunes de la moringa abarcan los campos de floculación, leñas, construcción de chozas tradicionales y cordelería.

Su madera es suave y liviana, poco duradera en el suelo y no resiste ni la humedad ni las termitas. Puede ser utilizada para pulpa y fabricación de papel, arde con facilidad por lo que se utiliza para iniciar los fuegos, y proporciona una leña aceptable para cocinar.

En el aspecto energético, se han realizado algunos estudios referentes a la posibilidad de obtención de combustibles líquidos y biogás a partir de moringa, pero en la bibliografía se encuentra poca información referente a la caracterización energética de su biomasa como biocombustible sólido. Por ello, el objetivo de este trabajo es realizar una evaluación del poder calorífico de los residuos de podas de moringa con vistas a su posible utilización energética.

### Palabras clave

Moringa, cultivo energético, poder calorífico

## 1. Introducción

En los países en desarrollo las fuentes tradicionales de energía procedían de los biocombustibles, que cubrían una amplia gama de recursos desde los restos de cortas, leñas y pajas hasta las bostas. Aún hoy, la madera constituye un recurso importante en estos países, y ha sido el combustible primario básico desde el descubrimiento del fuego. El aumento de la población hace que en las comunidades rurales se incremente la presión sobre la vegetación hasta el punto de dejar la tierra desnuda y originar procesos de pérdida de suelo y desertización.

Las primeras revoluciones industriales basaron su desarrollo en uso de combustibles fósiles: carbón y petróleo. Estos tipos de combustible presentan fundamentalmente dos inconvenientes: son fuentes finitas, y su impacto en el medio ambiente es elevado, sobre todo por emisión de gases de efecto invernadero y la creciente contaminación ambiental. Si a estos factores se les añade la inestabilidad política y económica en las principales zonas productoras de petróleo, que afectan no sólo al precio, sino incluso al suministro de combustible, se comprende la necesidad de buscar alternativas energéticas autóctonas, renovables, de suministro más estable y menos contaminantes.

Una de las fuentes sustitutivas vuelve a ser la energía procedente de la biomasa. La utilización de madera procedente de cultivos energéticos permite paliar los inconvenientes antes citados y controlar la presión que se ejerce sobre los bosques.

*Moringa oleifera* es un árbol poco longevo, que a lo sumo suele vivir 20 años. Es una planta que destaca por su rusticidad, rápido crecimiento, con un fácil y vigoroso rebrote tras la corta y gran versatilidad. Es una planta fácil de propagar, tanto por semilla como por material vegetativo

(PARROTTA, 2000) y puede ser cultivada como árbol aislado o, como forraje, en muy altas densidades.

Como árbol, en el primer año se puede desarrollar de tres a cinco metros, en condiciones óptimas de humedad y nutrientes (FUGLIE, 1999) ralentizando su crecimiento a partir del segundo o tercer año, cuando alcanza los 10-12 m. Puede llegar a medir 15 metros de altura (OLSON, 2015).

Como forraje, Foild et al. (2001) obtuvieron, en trabajos realizados en Nicaragua, 600 toneladas de biomasa en verde en 8 cortes, en parcelas sembradas a densidades de un millón de plantas/ha.

*Moringa oleifera* crece y se desarrolla muy bien en climas tropicales y subtropicales, especialmente en el denominado "Bosque seco Tropical" (Bs-T), que se distribuye entre los 0 y 1.000 m de altitud, con temperatura media anual superior a los 24°C (piso térmico cálido) y precipitaciones entre los 700 y 2.000 mm anuales, con uno o dos periodos marcados de sequía al año.

En su área de origen, y en las zonas donde ha sido introducida, la planta crece bien cuando la temperatura media es superior a 12,6°C, soportando máximas de hasta 48°C (ROLOFF, 2009). Respecto a la tolerancia al frío, la moringa vive en zonas de rusticidad USDA 9b a 12, resistiendo heladas ligeras de hasta -3°C pero se ve seriamente afectado si las temperaturas descienden por debajo de -5°C, incluso por una noche (NRC, 2006; BERTONI, 1927). En España, Sánchez de Lorenzo-Cáceres (2004) considera su cultivo como planta ornamental en la zona de rusticidad 11 (Tmin de 4 a 10°C) por lo que podría ser introducida, con otros fines, en la zona subtropical del sur de la península y en aquellos lugares de escasas heladas. La precipitación anual en su región de origen, pies de los Himalayas, es de 750 a 2.200 mm, si bien en las zonas áridas y semiáridas de Arabia y Etiopía, donde se cultiva, resiste con 300 mm (PARROTTA, 2000).

De esta planta se han realizado algunos estudios referentes a la posibilidad de obtención de combustibles líquidos y biogás (FOILD et al., 2001), y se estima una producción teórica de unos 30 litros de bioetanol por tonelada. Sin embargo, en la bibliografía se encuentra poca información referente a la caracterización energética de su biomasa como biocombustible sólido, salvo alguna referencia al poder calorífico de su leña.

La madera de la moringa, blanda y poco resistente, no posee las cualidades físicas mecánicas para ser considerada maderable (GARCÍA ROA, 2003). Como leña arde con facilidad, siendo buena para iniciar el fuego (ALFARO, 2006). Por su alto porcentaje de celulosa (aproximadamente el 53,4%) (COBAS y MOLINA, 2004), además de ser quemada o transformadas en mantillo, puede ser transformada en las denominadas biorrefinerías para obtener, entre otros productos hasta el momento no aprovechados, etanol.

Montaño (2014) obtuvo una producción de 0,13 gramos de etanol por cada gramo de moringa seca. Y según Foild et al. (2001), se pueden llegar a producir 0,20 litros de alcohol por kilo de materia seca.

La mayoría de los autores citan para la madera una densidad media de 0,6 t/m<sup>3</sup>. En el trabajo realizado dentro del Forestry Fuelwood Research and Development Project, French (1994) aporta los datos de 0,32 como densidad y 4.600 kcal/kg como "potencial calorífico", mientras que para Benítez et al. (2014) la densidad básica resultó ser 0,19 y Protá estima este valor en 0,27.

En Cuba, Loyola et al. (2014), para forraje y con marco de 1,5 x 1,5 m (4.444 plantas/ha), obtuvieron 6,2 kg de materia verde/árbol/corte (2,52 kg materia seca/árbol/corte), con 3 ó 4 cortes al año. El análisis individual por árbol mostró valores de peso de la leña/árbol de aproximadamente 28,23 kg/planta, equivalente a 125,5 t de madera/año, con una densidad de 961,5 kg/m<sup>3</sup>. Teniendo

en cuenta la densidad anhidra proporcionada por Benitez et al. (2014), esta madera tiene una humedad del 80%, en base húmeda. Con este dato, la producción anual de madera de moringa se estima en 24,79 t ms/ha que, según Foild et al. (2001), podrían producir unos 2.500 l de etanol por hectárea y año.

Loyola et al. (2015) en un estudio sobre cerca viva, con árboles de 15 años y a una distancia de 1,5 m, obtuvieron 0,035 m<sup>3</sup> de madera/año y 0,046 m<sup>3</sup> de leña/corte y 4 cortes año, respectivamente. El total de madera acumulado por árbol fue 0,219 m<sup>3</sup>/árbol/año con una densidad de 600 kg/m<sup>3</sup>.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de las características energéticas de la madera de moringa de unas muestras procedentes de una parcela de experimentación en Campohermoso (Almería). Los análisis se han realizado en el Laboratorio de Biocombustibles de la E.T.S.I. Montes de la Universidad Politécnica de Madrid.

## 3. Metodología

El poder calorífico superior se obtuvo mediante ensayos en la bomba calorimétrica con recuperación del calor de condensación del vapor de agua formado. El poder calorífico inferior es definido como el calor desprendido por un kilogramo de combustible, en una combustión en la que el agua producida se libera en forma de vapor.

La norma empleada en la obtención del poder calorífico fue la Norma UNE 164001-EX “*Biocombustibles sólidos: Método de Determinación del poder calorífico*”. La totalidad de los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Biocombustibles Rodolfo Carretero perteneciente a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid.

El análisis del poder calorífico superior en base húmeda (PCS<sub>H</sub>) se llevó a cabo mediante el uso de la bomba calorimétrica automática IKA C-4000. A continuación, y por cálculos convencionales y conocida la humedad, se estimó el poder calorífico inferior que es el que se emplea a nivel industrial.

El material estabilizó su humedad en el Laboratorio de Motores de la EUIT Forestal, donde se prepararon las probetas cilíndricas elaboradas según Norma, de 0,4 cm de diámetro y 0,7 cm de altura y aproximadamente 1 g de peso. El material de partida fue ramillas y ramas del año de menos de 3,5 cm de diámetro.

Por cada probeta utilizada para la medición del poder calorífico, a la humedad de laboratorio, se tomó una probeta testigo, que fue secada en estufa, según norma UNE-EN\_14774-1(2010). “*Determinación del contenido de humedad*”, y su peso medido con una balanza Cobos de 0,1 mg de precisión.

La fórmula utilizada para calcular el poder calorífico inferior en función del superior y la humedad en base húmeda (H) es la propuesta por Marcos (2001):

$$PCI_H = PCS_H - 665 \cdot (H + 0,54 \cdot (1 - H))$$

Dado que todas las muestras analizadas pertenecen a un mismo lote no se consideró realizar un análisis ANOVA sino un promedio de dichos resultados.

## 4. Resultados

Los valores de poder calorífico superior y de poder calorífico inferior (ambos tanto húmedos como anhidros) que se obtuvieron tras los ensayos de las muestras en la bomba calorimétrica y los correspondientes cálculos se presentan en la (Tabla 1).

Tabla 1. Poderes caloríficos de ramas y ramillas de moringa

	PCS <sub>H</sub>	PCS <sub>0</sub>	PCI <sub>H</sub>	PCI <sub>0</sub>
kcal/kg	3.964	4.292	3.628	3.929

Las muestras analizadas oscilaban entre los 1,03 g y 0,97 g de peso, siendo su peso promedio de 1,00 g.

No se detectaron residuos de ceniza.

Las muestras analizadas se estabilizaron a las condiciones del laboratorio como aconseja la Norma anteriormente citada, presentando unos valores de humedad en base húmeda entre 6,95 % y 8,60 % con un valor promedio del 7,65 %.

## 5. Discusión

La humedad es una variable física importante y que además influye en otras variables físicas y químicas. Así, por ejemplo, es la que más influye en el poder calorífico. Además, transportar biomasa húmeda supone transportar agua.

La moringa tiene una gran capacidad para almacenar agua, lo que tiene efectos en la densidad, en su gestión y en el poder calorífico. Recién cortada, su humedad es muy elevada, por lo que muchos de los valores de densidad citados en la literatura seguramente han sido tomados en estas condiciones. Por otro lado, si se quiere utilizar la moringa como combustible directo es necesario reducir la humedad de la madera almacenada hasta valores razonables para evitar el transporte de agua y obtener un mejor PCI al quemar. Puesto que la operación de secado supone tiempo, espacio y dinero, una alternativa puede ser dedicar la madera a producir bioetanol en una biorrefinería, y de este modo no sería tan necesario reducir la humedad.

El poder calorífico superior anhidro de las ramas de moringa, 4.292 kcal/kg, es inferior al que aporta French (1994) para la madera, 4.600 kcal/kg, y por debajo del rango obtenido en la biomasa de otras especies forestales, que oscila entre 4.500 y 5.300 kcal/kg (MARCOS, 2001). Los poderes caloríficos se han proporcionado en kcal/kg por ser ésta una unidad muy utilizada en la industria, aunque científicamente se deben utilizar las unidades del Sistema Internacional, es decir en kJ/kg.

Las cenizas obtenidas en los ensayos han sido prácticamente nulas, por lo que se podría afirmar que la madera procedente de las ramas finas y ramillas de moringa contienen un muy bajo porcentaje de cloratos.

## 6. Conclusiones

Una vez analizados los resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Las ramas y ramillas de moringa procedentes de poda tienen un bajo poder calorífico, presentando un bajo interés desde el punto de vista del aprovechamiento directo como combustible sólido, frente a las leñas de otras especies forestales.

- Los residuos generados tras la combustión son muy bajos. Por lo tanto, el rendimiento y vida útil de las calderas no se verán afectados por las cenizas originadas, las cuales contienen elementos corrosivos.

- La gestión energética de los residuos de moringa pasaría por producir etanol en biorrefinerías.

Este estudio abre una puerta al aprovechamiento energético de la biomasa residual procedente de los cultivos de moringa.

## 7. Agradecimientos

A D. Jesús Martín Granados, sin cuyo cultivo en Campohermoso (Almería) no habríamos podido realizar estos ensayos.

Al personal de la U.D. de Termodinámica de la E.T.S.I. Montes, que ha facilitado la realización de los ensayos.

## 8. Bibliografía

ALFARO, N.C. 2006. Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam, en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimenticia-nutricional de Guatemala. Informe final, proyecto FODECYT, nº 26, 2006.

BENITEZ, J.B.; VALLEJOS, M.E.; AREA, M.C; FELISSIA; F.E. 2014. Caracterización química y morfológica de *Moringa oleifera* para su aprovechamiento en biorrefinerías. 1. Aptitud Papelera Proceedings of the VIII CIADICYP The VIII IberoAmerican Congress on Pulp and Paper Research November, 26-28. 2014, Medellín, Colombia.

BERTONI, M.S. 1927. Agenda y Mentor Agrícola. Guía del agricultor y colono. 4ª edición. Ed. Ex sylvis. Puerto Bertoni. Alto Paraná. Paraguay

COBAS, A.C.; MOLINA, L.B. 2004. Aptitud papelera de *Moringa oleifera*. V Jornadas de Desarrollo e Innovación. Noviembre de 2004, INTI.

FRENCH, J.H. 1994. Forestry/Fuelwood Research and Development Project. *Growing Multipurpose Trees on Small Farms* (2nd ed.). Bangkok, Thailand: Winrock International. 320 pp. ISBN: 0-933595-88-3.

FOIDL N., MAKKAR H.P.S., BECKER K. 2001. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. In: Proceedings of International Workshop What development potential for Moringa products? Oct 29th to Nov 2nd. Dar Es Salaam, Tanzania.

FUGLIE, L.J. 1999. CWS. "The miracle tree" *Moringa oleifera*. Natural Nutrition for the tropics. Regional Representative. Senegal, Church World Service. Dakar. pp 1-31.

GARCÍA ROA, M. 2003. Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizados en sistemas silvopastoriles. INAFOR. 37 p.

LOYOLA, O.; PÉREZ, I.; TRIANA, D.; VALIDO, A.; YERO, I.; GONZÁLES, D.C. 2014. Evaluación agroproductiva de *Moringa oleifera* Lam en cercas vivas en condiciones edafoclimáticas. Revista de Producción Animal, 26 (2): 2014. Universidad de Camaguey Ignacio Agramonte Loynaz. Cuba. 2014.

LOYOLA, O.; VALIDO, A.; TRIANA, D.; PÉREZ, I.; YERO, I.; GONZÁLES, D.C. 2015. Evaluación de la retención de carbono y la fauna edáfica en asocio con *Moringa oleifera* Lam. en cercas vivas. Revista Centro Agrícola, 42(1):75-81; enero-marzo, 2015. Universidad Central Marta Abreu. Cuba. 2015

MARCOS, F. 2001. Biocombustibles sólidos de origen forestal. AENOR. Madrid.

MONTAÑO, H.F. 2014. Producción de Bioetanol a Partir de Material Lignocelulósico de *Moringa oleifera*. Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Mecánica y Mecatrónica Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. 2014

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL), 2006. Lost crops of Africa. Volume II: vegetables. The National Academies Press. 379 p. Washington, D.C.

NORMA UNE 164001-EX "Biocombustibles sólidos: método para la determinación del Poder Calorífico".

NORMA UNE-EN\_14774-1(2010). "Determinación del contenido de humedad."

OLSON, M.E. 2015. The hunt for wild *Moringa oleifera* I: Dehradun. Visto el 19/04/2016 en Web: <http://moringaceae.org/imgc-moringa-blog/wildoleifera2>

PARROTTA, J.A. 2000. Capítulo *Moringa oleifera*, pag. 366-370. Bioecología de Arbóreas Nativas y Exóticas de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Gen. Tech. Rep. IITF-15. Río Piedras, Puerto Rico: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. 582 p. Francis, John K.; Lowe, Carol A., eds. Trabanino, Salvador, traductor.

ROLOFF A., WEISGERBER H., LANG U., STIMM B. 2009. Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 978-3-527-32141-4.

SÁNCHEZ DE LORENZO-CÁCERES, J.M. 2004. Las plantas ornamentales y sus zonas de rusticidad en España. <http://www.arbolesornamentales.es/plantas%20y%20zonas%20de%20rusticidad.pdf>.