

Evaluación del uso energético de la *Moringa oleífera*

Assessment of energy use of *Moringa oleífera*

Godino, M.¹; Villegas¹, S.; Izquierdo¹, M.I.; Velásquez², J.C.;
Vargas. R³.

¹ U.D. Motores. E.U .Ingeniería Técnica Forestal. U. Politécnica de Madrid. España. teléfono: +34 913367534; ² Fac. Ing. Agraria. U. Surcolombiana, Neiva. Colombia; ³ Fac. Ing. Forestal, U. Tolima, Ibagué. Colombia. E-mail para correspondencia: miguel.godino@upm.es

Resumen

La búsqueda de fuentes de energía sustitutivas a las tradicionales implica, entre otras, el desarrollo de energía procedente de biomasa. En este sentido, se han realizado estudios referentes a cultivos de diferentes especies vegetales cuyo destino final es la producción de energía. Una especie con amplio potencial como cultivo energético es la *Moringa oleífera* Lam., especie que ha sido introducida en gran cantidad de

regiones tropicales y subtropicales. Esta especie destaca por su rusticidad, rápido crecimiento y gran versatilidad; y está siendo estudiada por su alto valor nutritivo, su carácter ornamental, o capacidad floculante. Con respecto a su valor como biocombustible, se han realizado algunos estudios referentes a la posibilidad de obtención de combustibles líquidos y biogás pero todavía hay poca información disponible referente a la caracterización energética de su biomasa y, aún menos, como biocombustible sólido. Con este documento se recoge un análisis del

poder calorífico de la planta, utilizando como material pélets de hojas de moringa.

Palabras clave: Cultivo energético, densidad, pélets, poder calorífico.

Abstract

The search for energy alternatives to traditional, involves the development of energy from biomass. In this regard, there have been studies on different plant crops ultimately destined for energy production. A species with great potential as an energy crop is the *Moringa oleifera* Lam., which has been introduced in many tropical and subtropical regions. This species is noted for its rusticity, fast growth and great versatility, and it is being studied for its high nutritional value, its ornamental, or flocculant capacity. As for its value as a biofuel, there have been some studies concerning the possibility of obtaining liquid fuels and biogas but there is still little information available on the characterization of biomass energy and even less, as solid biofuel. This document provides an analysis of the plant calorific power, using pellet

materials of moringa leaves.

Keywords: Energetic crop, density, pellets, caloric power.

Introducción

El consumo mundial de energía se ha incrementado en los últimos años, en particular en aquellas regiones en proceso de rápido desarrollo. Las fuentes tradicionales de energía, procedentes de combustibles fósiles, presentan fundamentalmente dos inconvenientes: son fuentes finitas y su impacto en el medio ambiente es elevado. Además, el incremento en el precio del petróleo, la inestabilidad política en las principales naciones productoras del mismo, el aumento de la concentración de los Gases de Efecto Invernadero y la creciente contaminación ambiental conforman un escenario idóneo para la búsqueda de alternativas energéticas renovables.

Una de las fuentes sustitutivas es la energía procedente de la biomasa. El origen de esta biomasa puede ser de residuos de actividades forestales, agrícolas o agroindustriales o de cultivos energéticos. Se entiende por

cultivos energéticos aquellas plantaciones de crecimiento rápido que se realizan con el propósito específico de producción de energía en alguna de sus tipologías: térmica, eléctrica o mediante su transformación en biocarburantes, ya sea biodiesel o bioetanol.

Los cultivos lignocelulósicos son de tipo energético, los cuales suelen destinarse a la generación de los dos primeros tipos de energía. En este caso, la biomasa una vez cosechada o recogida del campo es trasladada con o sin compactación a una instalación de tipo industrial en la que es transformada en un combustible de características especificables, o es transformada directamente en calor y/o electricidad.

La *Moringa oleifera* es una planta con gran potencial como productora de materia prima para biocombustibles ya sea como biodiesel, bioetanol, biogás o, simplemente, para ser quemada directamente. La planta, difundida pantropicalmente, ha sido estudiada por su alto valor nutritivo y su capacidad floculante; pero no con estos fines.

La *Moringa oleifera* pertenece a la familia monogénica *Moringaceae*, con trece especies distribuidas por África, Madagascar y la India. Esta familia se originó por la dificultad de colocar en alguna otra el anómalo género *Moringa*, como lo reconoció el ingeniero de montes D. Domingo Vidal y Soler, destinado en Manila entre 1877 y 1883 (Vidal y Soler, 1889).

Su cultivo se destaca por su rusticidad, gran capacidad de rebrote, rápido crecimiento y gran versatilidad: puede ser cultivado como árbol aislado o en muy altas densidades. En Nicaragua, como forraje, se han llegado a obtener 78 t de materia fresca por corte, de la que un 80 % es agua, con una frecuencia de 8 cortes por año y una densidad de plantación de un millón de plantas por hectárea Foild *et al.*, (2001). La *Moringa oleifera* es una planta de crecimiento muy rápido; con un fácil y vigoroso rebrote tras el corte. 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 hasta alcanzar los 10-12 metros de altura. En ocasiones alcanzan los 15 metros de altura con diámetros a altura de pecho normales de 75 cm. La moringa es una planta fácil de propagar, tanto por semilla como por material vegetativo (Parrotta, 2000).

Se trata de un árbol poco longevo, que a lo sumo puede vivir 20 años si procede de semilla. La media de edad alcanzada en árboles propagados por estaca oscila en torno a 10-15 años (Falasca y Bernabé, 2008). Si se cultiva a muy altas densidades, el turno de reposición es de cuatro o cinco años.

La *M. oleifera* crece y se desarrolla muy bien en climas tropicales y subtropicales. En su área de origen y en las introducidas, la planta crece en zonas cuya temperatura media oscila entre los 12,6 y 40,0 °C, soportando temperaturas mínimas de hasta -1 °C y máximas de hasta 48 °C (Roloff et al., 2009). Respecto al frío, vive en zonas de rusticidad USDA 9b a 12, así, en España, se considera su cultivo como planta ornamental en la zona de rusticidad 11 (temperatura

mínima 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 (Sánchez de Lorenzo-Cáceres, 2004). La precipitación anual en su región de origen, pies de los Himalayas, es de 750 a 2200 mm, si bien en las zonas áridas y semiáridas de Arabia y Etiopía, donde se cultiva, la precipitación puede ser de 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), pero 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 y una producción teórica de unos 30 l de bioetanol por tonelada.

Como leña, la *M. oleifera* posee una gran cantidad de celulosa (aproximadamente el 53,4%) (Cobas y Molina, 2004) que arde con facilidad y cuyo poder de combustión

es bajo. Si bien la mayoría de los autores citan una densidad media de $0,6 \text{ t/m}^3$, en el trabajo realizado dentro del Forestry/Fuelwood Research and Development Project, French(1994) aporta los datos de 0.32 t/m^3 y 4.600 kcal/kg de potencial calorífico. No se han reportado datos de producción de leña.

Foild et al. (2001), en trabajos realizados en Nicaragua obtuvieron 600 t de biomasa en 8 cortes, sembrada a densidades de $1.000.000$ de plantas/ha, pudiéndose realizar el primer corte a los 60 días. A partir de esta biomasa podrían obtenerse anualmente 20.000 l/ha de bioetanol.

La superficie necesaria para producir 10 MW de energía eléctrica con *Moringa oleifera* bajo riego, 80 t de material proteico y 6.000 l de alcohol por día, es de 1.500 ha , mientras que para producir la misma cantidad de energía con eucalipto se requieren unas 8.000 ha (Pérez, 2012). Estos árboles iniciarían la producción entre los 3 y 5 años después de sembrados, mientras que con *M. oleifera* se puede iniciar la

producción a partir de los 60 días de su germinación.

La biomasa analizada procede del cultivo lignocelulósico de *M. oleifera*, que se realiza en la Finca Villa Tita, del Término Municipal El Guamo, Departamento de Tolima, Colombia. El uso que se está dando a dicho cultivo es el de alimento para ganado, tanto en verde como, más recientemente, transformándolo en pélets para su conservación y venta. Estos pélets han sido estudiados desde el punto de vista térmico en el Laboratorio de Biocombustibles de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid para caracterizar energéticamente la especie.

El porcentaje de cenizas varía, entre otros factores, según la edad de la planta en el momento del corte: a menor turno de corta mayor nivel de cenizas. En Sinaloa Perez, (2011) se obtuvo un $7'3\%$ en cenizas con turnos de 47 días frente un $6'4\%$ con corte a los 89 días. Otros autores elevan la cifra hasta casi el doble pudiendo deberse a la edad de la planta, la parte muestreada de la

misma y la composición del suelo (Flores y Duarte, 2004).

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de las características energéticas de pélets procedentes de cultivos de moringa para ser quemada directamente en calderas. Por otra parte,



Figura 1. Brotes de moringa a los cinco días de ser cortada. Fuente: M. Godino.

Materiales y métodos

El cultivo se encuentra en la zona de vida Bosque Seco Tropical (bs-T), con 1288 mm de precipitación anual con una distribución bimodal, recibiendo un aporte extra de un riego quincenal en los meses de sequía. La temperatura media en El Guamo es de 28 °C, sensiblemente constante a lo largo del

dado el interés que supone disponer de un balance positivo en energía y carbono en el desarrollo de los cultivos energéticos, se incluye la evaluación del balance de carbono para el cultivo de moringa.



Figura 2. Moringa oleifera con 80 días. En Villa Tita, El Guamo, Tolima, Colombia: Fuente: Omar Melo.

año. La humedad relativa es del 72%, y la radiación solar promedio 2,76 kW·h/m²/día.

Las muestras de biomasa consistieron en pélets de una mezcla triturada de hojas y ramas no leñosas de *M. oleifera*, procedentes de Colombia. Para la fabricación de los pélets se utilizó glicerol al 10% en peso



. **Figur 3.** Pélets de *Moringa oleifera*..Fuente: M. Godino.

La plantación tiene una densidad de 200.000 plantas/ha, con una producción de 18 t de materia verde en el primer corte, realizándose seis cortes al año. Teniendo en cuenta que la humedad media es del 83 %, la cosecha anual alcanzaría unas 18,3 t de materia seca/ha. La planta recién cortada es llevada a fábrica donde se exprime, se tritura, se seca y se compacta, produciendo pélets. En general, al final del proceso de peletizado, la humedad suele estar entre el 8-10 %.

El ensayo, realizado sobre una serie de probetas de aproximadamente 1 g siguió las instrucciones recogidas en la Norma UNE 164001-EX “Biocombustibles sólidos: método para la determinación del poder calorífico”. Tanto el Poder Calorífico Superior (PCS) en base seca, como el Poder

Calorífico Inferior (PCI), en base seca y en base húmeda, se calcularon por correlaciones existentes de acuerdo al PCS en base húmeda y el contenido de humedad de la probeta.

El análisis del PCS en base húmeda se llevó a cabo mediante el uso de la bomba calorimétrica automática IKA C-4000.

La fórmula utilizada para calcular el poder calorífico en función de la humedad (H) es la propuesta por Marcos (2001):

$$PCI_h = PCS_0 * (1/(1 + h)) - 665 ((0.54 + h)/(1+h))$$

Dónde: h es % humedad en base seca; PCI, poder calorífico interior y PCS, Poder calorífico superior.

Dado que todas las muestras

analizadas pertenecen a un mismo lote no se consideró realizar un análisis ANOVA sino un promedio de dichos resultados.

Se estimó el almacenamiento de carbono, para ello se asume que el carbono es un 50% de la biomasa (Montero 2005). La relación para pasar de carbono a CO₂ es función de sus pesos moleculares: 44/12: 3,67.

Resultados

Los valores de PCS y PCI, ambos tanto húmedos como anhidros, que se obtuvieron tras la combustión de las muestras en la bomba calorimétrica se presenta en la Tabla 1.

El porcentaje de cenizas osciló entre 5,4 y 9,1 %, siendo su valor promedio de 7,5 %. Las muestras analizadas se estabilizaron a las condiciones del laboratorio, como aconseja la Norma 164001-EX, presentando unos valores un rango entre 8,7 y 10,6 %, siendo su valor promedio del 9,3 % en base seca.

Tabla 1. Poderes caloríficos pélets de *Moringa oleífera* en El Guamo, Tolima.

	PCSH	PCSO	PCIH	PCIO
kcal/kg	4,538	4,930	4,154	4,634

PCSO Poder calorífico superior anhidro (PCSO); PCSH calorífico superior a la humedad (base húmeda)

Descontando la humedad en base seca y la cantidad de cenizas, la cantidad de carbono fijado por *M. oleífera* ha sido de 7,66 t/ha, lo cual corresponde a 28,7 t CO₂/ha/año arriba del suelo.

Discusión

El PCS anhidro de los pélets (4.930 kcal/kg) es superior al de la madera

(4.600 kcal/kg). Esto puede ser debido a que en la composición química de las hojas existe un porcentaje de lípidos, los cuales tiene el doble de poder calorífico, que varía del 3 al 10 % (Pérez, 2012, Fuglie, 1999). Ambos, pélets y madera, tienen PCSO que están dentro del rango obtenido en la biomasa de otras especies forestales, que oscila entre 4.500 y 5.300 kcal/kg

(Marcos, 2001).

Se adjunta un cuadro comparativo de los principales cultivos energéticos no leñosos y los datos obtenidos en el ensayo de la *M. oleifera*.

Conclusiones

A la vista de los valores obtenidos para la biomasa de *M. oleifera*, se puede tomar en consideración la posibilidad del uso energético de los pélets como combustible primario. Respecto a la cantidad de carbono fijado, indicar que la gran productividad de la especie, que puede soportar densidades de plantación de un millón de plantas por hectárea, supone una importante fijación de carbono y energía

resultante en el producto.

Agradecimientos

A D. Urías Garavito, Gerente de Corpogan, por su aportación del material que ha permitido realizar este documento. A los rectores de las universidades colombianas del Tolima y Surcolombiana, con quienes la UPM está realizando un proyecto de Cooperación para el Desarrollo mediante el fomento del cultivo de *Moringa oleifera*. Al personal de la U.D. de Termodinámica de la E.T.S.I. Montes, que ha facilitado la realización de los ensayos.

Tabla 2. Características de cultivos energéticos y *M. oleifera*.

Cultivo	Producción (t ms/ha/año)	PCI MJ (kg m.s.)	Production Energética (GJ/ha)	Agua tras cosecha (%)	Cenizas (% peso seco)	Fuente
Paja	2-4	17	37-70	14,5	5	AEBIOM modificado por IDAE
<i>Miscanthus</i>	8-32	17,5	140-560	15	3,7	
Cáñamo	10-18	16,8	170-300			
Giant reed	15-35	16,3	245-570	50	5	
<i>Panicum virgatum</i>	6-16	17	98-130	15	6	
Red canary grass	9-18	16,3	153-306	13	4	
<i>M. oleifera</i>	18,3	17,5	320	83	7,49	Esta investigación

Referencias bibliográficas

- AEBIOM. 2007. European Biomass Statistics.
- Cobas, A.C.; Molina, L.B. 2004. Aptitud Papelera De *Moringa Oleifera*. V Jornadas De Desarrollo E Innovación. Noviembre De 2004, Inti.
- Falasca, S.; Bernabé, M.A. 2008. Potenciales Usos Y Delimitación Del Área De Cultivo De *Moringa Oleifera* En Argentina. *Redesma*.
- 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.
- Flores B.A., Duarte F.J. 2004. Producción De Biomasa De *Moringa Oleifera* Sometida A Diferentes Densidades De Siembra Y Frecuencias De Corte, En El Trópico Seco De Managua, Nicaragua. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Agraria.
- 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.
- Instituto Para La Diversificación Y Ahorro De La Energía Idae). 2008. Manuales De Energías Renovables 2. Energía De La Biomasa. Experiencias Con Biomasa Agrícola Y Forestal Para Uso Energético. Madrid.
- Marcos, F. 2001. Biocombustibles Sólidos De Origen Forestal. Aenor. Madrid. Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. 2005. Producción De Biomasa Y Fijación De Co2 Por Los Bosques Españoles. Monografías Inia: Serie Forestal N° 13. Inia. Madrid. Isbn: 84-7498-512-9.
- Norma Une 164001-Ex "Biocombustibles Sólidos: Método Para La Determinación Del Poder Calorífico".
- Parrotta, J.A. 2000. Capítulo *Moringa Oleifera*, Pag. 366-370. Bioecología De Arbóreas Nativos Y Exóticos De Puerto Rico Y Las Indias Occidentales. Gen. Tech. Rep. Itf-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.
- Pérez, C. 2012. Trabajo De Fin De Carrera: *Moringa Oleifera* Lam., Especie Forestal De Usos Múltiples. Revisión Bibliográfica. E.U.I.T. Forestal U.P.M.) Madrid.
- Pérez, R. 2011. *Moringa Oleifera*: Una Alternativa Forrajera Para Ovinos. Fundación Produce Sinaloa. Universidad Autónoma De Sinaloa. México.
- Roloff A., Weisgerber H., Lang U., Stimm B. 2009. Enzyklopädie Der Holzgewächse, Handbuch Und Atlas Der Dendrologie. Wiley-Vch Verlag Gmbh & Co. Kгаа, Weinheim. Isbn: 978-3-527-32141-4.
- Sánchez De Lorenzo-Cáceres, J.M, 2004. Flora Ornamental Española. Tomo Iii Salicaceae-Chrysobalanaceae. Junta De Andalucía-Mundi Prensa.
- Vidal Y Soler, S. 1889. Sinopsis De Familias Y Géneros De Plantas Leñosas En Filipinas: Introducción A La Flora Forestal Del Archipiélago Filipino. Manila Filipinas.