

Potencial calórico y acumulación de biomasa de la especie *Leucaena macrophylla* Benth. establecida con tres tipos de espaciamiento en Cortes, Honduras

Calorific potential and accumulation of biomass of the specie *Leucaena macrophylla* Benth. established with three types of spacing in Cortes, Honduras

Gissel Esperanza Fajardo-Canales¹ • Nelson Mejía-Pineda² • Javier Gutiérrez-Bardales³

Abstract

The study and testing of different tree species for the purpose of generating biomass as an energy source in Honduras is essential for the development of a mixed energy matrix that generates less dependence on fossil fuels and imported natural gas. Therefore, the objective of this study was to evaluate the accumulation of biomass by diameter and height growth and the calorimetric power of *Leucaena macrophylla*. For which it was established with three spacings that were 1.0 x 1.0 m, 1.5 x 1.5 m and 2.0 x 2.0 m; each spacing was planted on 3.56 ha and, in each one, 8 permanent plots were established, which were evaluated at 12, 18 and 24 months, harvesting trees in each measurement to estimate the caloric power. The results indicated that at 12 months of age, there were no identified differences between the three spacings, having an average diameter of 3.7 cm, height of 3.4 m and biomass of 4.1 ton/ha of dry biomass; however, at 18 and 24 months the spacing of 1.0 x 1.0 m presented lower growth and biomass accumulation data due to high competition between the individuals which stalled their growth, while the other two spacings did not show differences between them. In the case of the physical and calorimetric properties, no differences were found in the green, dry and anhydrous density of the three spacings in the three periods studied, with the other variables analyzed at 12 months no differences were found between the spacings, it is later, at 18 months, in which the spacing of 1.5 x 1.5m presented lower wood moisture contents and higher caloric power in green and dry condition (24 months were higher than 15,000 kJ / kg); values considered as optimal to establish the species *L. macrophylla* with said spacing for an energetic purpose

Key words: Forest plantation, caloric power, wood properties, dendroenergetic plantation.

1. Consultora Independiente; Francisco Morazán, Honduras;
fajardogjs6@gmail.com

2. Docente Universitaria. UNACIFOR; Comayagua, Honduras;
n.mejia@unacifor.edu.hn

3. Ingeniero, INCAL S.A de C.V. San Pedro Sula; San Pedro Sula, Honduras;
jgutierrezb@calidra.com.mx

Recibido: 10/04/2018

Aceptado: 11/08/2018

Publicado: 19/09/2018

DOI: 10.18845/rfmk.v15i1.3840

Resumen

El estudio y la prueba de distintas especies arbóreas con fines de generación de biomasa como fuente energética en Honduras, es primordial para el desarrollo de una matriz energética mixta que genere en menor dependencia a los combustibles fósiles y gas natural importados. Por lo que el objetivo del presente estudio consistió en evaluar la acumulación de biomasa por crecimiento diamétrico y altura y el poder calorimétrico de *Leucaena macrophylla*. Para lo cual se estableció con tres espaciamientos que fueron 1,0 x 1,0 m, 1,5 x 1,5 m y 2,0 x 2,0 m; cada espaciamiento se sembró en 3,56 ha y en cada una se establecieron 8 parcelas permanentes que se evaluaron a los 12, 18 y 24 meses, cosechando árboles en cada medición para estimación del poder calórico. Los resultados indicaron que a los 12 meses de edad no se identificaron diferencias entre los tres espaciamientos, teniendo un diámetro promedio de 3,7 cm, altura de 3,4 m y biomasa de 4,1 ton/ha de biomasa seca; sin embargo, a los 18 y 24 meses el espaciamiento de 1,0 x 1,0 m presentó menores datos de crecimiento y acumulación de biomasa eso debido a la alta competencia de los individuos que estancó el crecimiento, los otros dos espaciamientos no mostraron diferencias entre sí. Con las propiedades físicas y calorimétricas, no se encontró diferencias en la densidad verde, seca y anhidra de los tres espaciamientos en los tres periodos estudiados, con las otras variables analizadas a los 12 meses no se encontraron diferencias entre los espaciamientos, es posterior a los 18 meses en el que el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m presentó los contenidos de humedad de madera menor, mayor poder calórico en condición verde y seca (a 24 meses fueron superiores a 15 000 kJ/kg) valores considerados como óptimos para establecer la especie *L. macrophylla* con dicho espaciamiento con fin energético.

Palabras clave: *Leucaena macrophylla*, biomasa, poder calórico, plantación dendroenergética, Honduras.

Introducción

La biomasa de origen arbóreo ha sido una de las principales fuentes de energía en la historia de la humanidad (Pancel, 2006). Estudios desarrollados por Anbumozhi (2005) estiman que en la última década la biomasa aporta el 9 % del suministro energético mundial y el 39,6 % del suministro de los países en vía de desarrollo. La FAO (2013) estima que en América Latina y Caribe cerca de 35 millones de habitantes no cuentan con suministro eléctrico y más de 85 millones de personas implementan biomasa como fuente de energía para la atención de necesidades básicas (Colodette et

al., 2014) con una proyección para el 2030 que más de 102 millones de personas implementarían biomasa.

En el caso específico de Honduras el 59 % del consumo eléctrico es dedicado a actividades industriales y apenas el 32 % es implementado en uso doméstico (CEPAL, 2009) se estima que el 49 % de los hogares hondureños implementan biomasa (específicamente leña), para sustentar actividades domésticas y el 21,8 % de la población combina la biomasa con electricidad y gas natural para actividades hogareñas (COMMEND, 2011); en la última década el Gobierno Hondureño ha desarrollado una estrategia de diversificación de la matriz energética, desarrollando proyectos de microrredes en áreas rurales en las que la biomasa es la principal fuente energética (Aguilera, 2009).

Por lo que es necesario desarrollar fuentes de biomasa estables para el mediano plazo, que permitan generar un mercado formal, bajo estándares claros y con facilidad de adquisición y uso por los usuarios demandantes (Flores, 2012). El establecimiento y manejo de plantaciones dendroenergéticas se convierte en una de las opciones más factibles para el mercado bioenergético hondureño. Caputo et al. (2005) mencionan que el cultivo de árboles a alta densidad de siembra permite generar altos volúmenes de biomasa en ciclos cortos (de 2 a 4 años), permite el uso de terrenos a sistemas productivos, aumentando ingresos económicos a los propietarios e incidiendo positivamente en las economías locales.

El establecimiento de plantaciones dendroenergéticas debe considerar los principios de Bown et al., (1989): i. Implementar especies que se adapten a las condiciones del sitio y no degraden la calidad del suelo, ii. Implementación de especies de rápido crecimiento y acumulación de biomasa, iii. Especies con capacidad de rebrotar y que permitan hacer cultivos cíclicos y iv. Especies con propiedades calóricas que permitan generar electricidad con un costo energético competitivo en el mercado. Especies como *Leucaena macrophylla* muestra potencialidad para uso energético debido que es una especie de rápido crecimiento, con un manejo en campo mínimo, facilidad de rebrote y con un poder calórico de 19 000 kJ/kg, superior en comparación a especies como *Gmelina arborea* (16 000 kJ/kg) o *Eucalyptus deglupta* (17 900 kJ/kg), especies que actualmente se están implementado en proyectos dendroenergéticos en América Central (Salazar-Zeledón, 2016).

En Honduras las experiencias en dendroenergía han sido limitadas y se han enfatizado en manejo de los residuos forestales y uso de las especies plantadas disponibles en plantaciones con fines maderables, por lo que es necesario el desarrollo de investigaciones de especies en condiciones de plantación dendroenergética como

mecanismo de generación de paquetes tecnológicos para la generación de biomasa de forma estable. Empresas como INCAL S.A de C.V. ha iniciado desarrollo de los primeros estudios dendroenergéticos en el país, evaluando especies con potencial energético comercial. Por lo cual el presente estudio analizó el potencial calórico y de acumulación de biomasa de *Leucaena macrophylla* establecida con tres tipos de espaciamentos en Potrerillos, Cortes, Honduras.

Materiales y métodos

Especie y sitio de estudio

El estudio se realizó en la aldea Corte de Culebra, perteneciente al municipio de Potrerillos en el departamento de Cortés (15,166° N, 87,967°O). El municipio de Potrerillos se ubica a 45 km al sur de la ciudad de San Pedro Sula (ICF, 2015). La plantación se ubicó al norte del casco urbano del municipio de Potrerillos en un área de uso agrícola y forestal (figura 1). Se implementó una plantación de 10,67 ha establecida a una altitud de 169 m.s.n.m, en un sitio relativamente plano (con una pendiente inferior a 5 %), con suelo de textura franco-arenosa. La temperatura promedio anual del sitio es de 26 °C y una precipitación anual de 1 324 mm (Climate-Data, 2012). Previo al cultivo en el sitio se limpió con chapia manual en la cual se eliminó la cobertura presente y dejando el suelo desnudo.

El estudio implementó plantas de *Leucaena macrophylla* Benth., precedentes de fuentes semilleras de Honduras. Las plantas se germinaron en un vivero con condiciones controladas por periodo de 2 meses bajo un sistema de siembra directa en bolsa plástica de poliestireno con un sustrato de 50 % suelo (horizonte A del sitio) y granza de arroz.

En el campo se establecieron tres espaciamentos de siembra que fueron: 1,5 x 1,5 m (4 445 árb/ha); 2,0 x 2,0 m (densidad de 2 500 árb/ha) y 1,0 x 1,0 m (densidad de 10 000 árb/ha). Por cada espaciamento se sembró 3,56 ha, la ubicación de la siembra de cada espaciamento dentro de la finca fue designada aleatoriamente.

Control de crecimiento de la plantación

Un año posterior a la siembra de la plantación se procedió con las mediciones de los tres espaciamentos. Se establecieron 8 parcelas por espaciamento (24 parcelas en total) de 8 x 8 m con una distribución completamente al azar, con un error de muestreo inferior al 5 %.

Cada parcela se georreferenció y ubicó en campo y se midió a los 12, 18 y 24 meses de edad de la plantación y en cada una se llevó un control de la mortalidad, se

midió el diámetro a la altura del cuello (DAC, medido en la base de cada árbol) y la altura total.

Para la estimación de la biomasa aérea total se seleccionaron tres árboles promedio (a partir del DAC estimado por parcela) por parcela (24 árboles por espaciamento), cada árbol se cortó y se pesó únicamente las ramas y fuste, dejando por fuera las hojas (considerado como un material a dejar en la plantación en la cosecha) dicho pesaje se realizó con una balanza digital Ocony de 50 kg de capacidad máxima.

Estimación de las propiedades energéticas de la especie

Se determinó la densidad, contenido de humedad y poder calórico de *L. macrophylla* con los diferentes espaciamentos y a las tres edades evaluadas, de cada árbol cortado para estimación de biomasa se le extrajeron tres probetas del fuste y tres de las ramas para cada una de las propiedades mencionadas. La selección se realizó bajo la metodología de Zeledón-Salazar (2016) cosechando una probeta en la base, de la parte media y de la parte superior del fuste; en el caso de las ramas se seleccionó la muestra de ramas presentes de cada segmento del fuste.

La densidad de la madera se realizó tanto en condición verde como seca (contenido humedad del 12 %) y anhidro; para la estimación de la densidad se implementó el principio de Arquímedes (Pérez y Osorio, 2014), cada probeta se pesó en condición verde y posterior a ello se colocó dentro de un horno a 105 °C por 48 horas hasta que alcanzara una condición seca, seguidamente se pesó y se colocó nuevamente en el horno hasta que la muestra presentara un contenido de humedad anhidro (de 72 a 96 horas dependiendo el tamaño de la probeta). Para la estimación del volumen se utilizó una probeta de 1 000 ml para estimar el desplazamiento del agua (destilada y desionizada) y con ello el volumen de cada probeta. Los datos obtenidos se implementaron en la ecuación 1 para la estimación de la densidad.

$$d_i = \frac{m_i}{v} \quad (1)$$

Donde: d_i es la densidad de la madera (condición verde, seca o anhidra) en g/cm³; m_i es el peso de la probeta (en condición verde, seca o anhidra) y v es el volumen de la probeta en cm³.

El contenido de humedad se determinó en el laboratorio utilizando el método gravimétrico (Baetting et al., 2010). Las probetas se pesaron al momento de cortarlas para conocer el peso verde, luego se introdujeron en un horno eléctrico de secado a una temperatura de 104 °C, monitoreando las probetas hasta que no presentaran

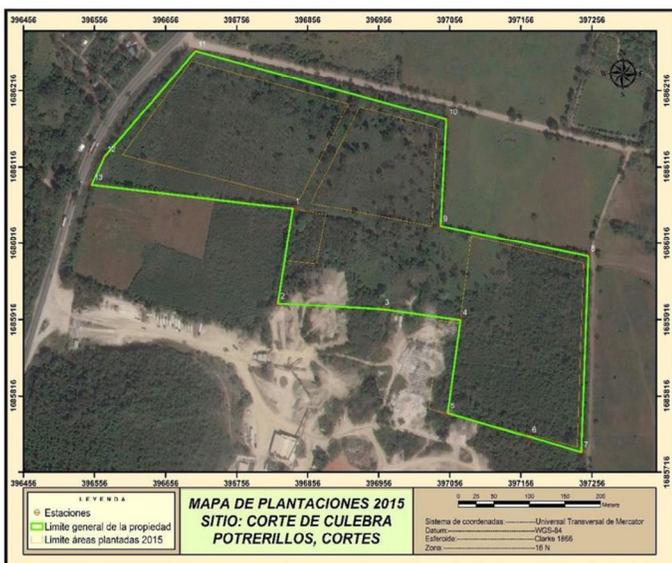


Figura 1. Sitio de la plantación de la *L. macrophylla* en tres espaciamientos en Cortes, Honduras.

Figure 1. Planting site of *L. macrophylla* in three spacings in Cortes, Honduras.

variaciones en los pesos. Posteriormente se tomó el peso de las probetas secas y se determinó el contenido de humedad con la ecuación 2.

$$CH(\%) = \left(\frac{PS}{PV} \right) * 100 \% \quad (2)$$

Donde: *CH* es el contenido de humedad en porcentaje, *Ps* es el peso seco de la muestra en g y *Pv* es el peso verde de la muestra en g.

Las pruebas de calorimetría se realizaron bajo la normativa ASTM D-5865-04 (2003), cada probeta se pulverizó y se secó por 48 horas a 104 °C, seguidamente se colocó en una bomba calorimétrica de Parr's, las partículas se colocaron para que se quemaran con un volumen constante. Se inyectó el oxígeno necesario para la combustión y en el inició con la ignición de un conductor eléctrico en cortocircuito. La bomba se sumergió en una camisa de agua aislada térmicamente para evitar pérdidas de calor. Las muestras fueron comparadas con un patrón de ácido benzoico (C₆H₅COOH), y con los datos registrados por la bomba calorimétrica se procedió a calcular el poder calorífico con la ecuación 3.

$$PC = \left(PCAB * \frac{Ti - Tf}{masa\ de\ la\ muestra} \right) * 4,148 \quad (3)$$

Donde: *PC* es el valor calórico en kJ/kg, *PCAB* es el Poder calórico del ácido benzoico en kcal/kg, *Ti* es la temperatura de inicio en °C y *Tf* es la temperatura final en °C, 4,148 es el factor de conversión de kcal a kJ.

Diseño experimental y análisis de resultados

El experimento se realizó en su totalidad (medición de crecimiento y propiedades energéticas) con un diseño simple aleatorio. Primeramente, se realizó un análisis descriptivo en el que se determinó el valor promedio y desviación estándar de las variables de crecimiento (DAC, altura total y biomasa verde y seca), físicas (densidad verde, seca y anhidra y contenido de humedad) y poder calórico a los 12, 18 y 24 meses de edad. Posteriormente se realizó un análisis de varianza de una vía (ANDEVA) para determinar si existieron diferencias ya fuera en crecimiento o propiedades energéticas entre los tres espaciamientos evaluados, en caso de las variables que se encontraron variación significativa se aplicó una Prueba de Tukey para determinar el tratamiento que mostró variación.

Las pruebas se realizaron con una significancia de 0,05 en el programa Infostat versión 2017.

Resultados y discusión

Crecimiento de la plantación con tres espaciamientos

El diámetro de los individuos a los 12 meses (figura 2a) fue en promedio de 3,7 cm y no mostró variaciones significativas entre los tres espaciamientos, es a los 18 meses en los que se obtuvieron diferencias significativas siendo el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m el que mostró mayor diámetro (en promedio de 5,7 cm), mientras los otros dos espaciamientos no mostraron diferencias entre sí y presentaron un valor medio de 4,8 cm; a los 24 meses se mantuvo el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m con los diámetros significativamente mayores (promedio de 7,1 cm), seguido por el de 2,0 x 2,0 m (con 6,4 cm) y 1,0 x 1,0 m con crecimiento significativamente menor (5,4 cm en promedio). En cuanto la altura total (figura 2b) no se encontraron diferencias estadísticas entre los tres espaciamientos tanto a los 12, 18 y 24 meses; a los 12 meses la altura promedio fue de 3,4 m, a los 18 meses de 4,4 m y 24 meses de 5,1 m.

El comportamiento de que los primeros 12 meses no se obtuvo variaciones de diámetros entre espaciamientos de establecimiento se debió que en el primer año los individuos tienden a invertir los azúcares, macro y micronutrientes en el crecimiento en altura esto como estrategia de sobrevivencia a la competencia de cada individuo en condiciones de plantación, por lo que el crecimiento diamétrico pasa a un segundo plano (Lee,

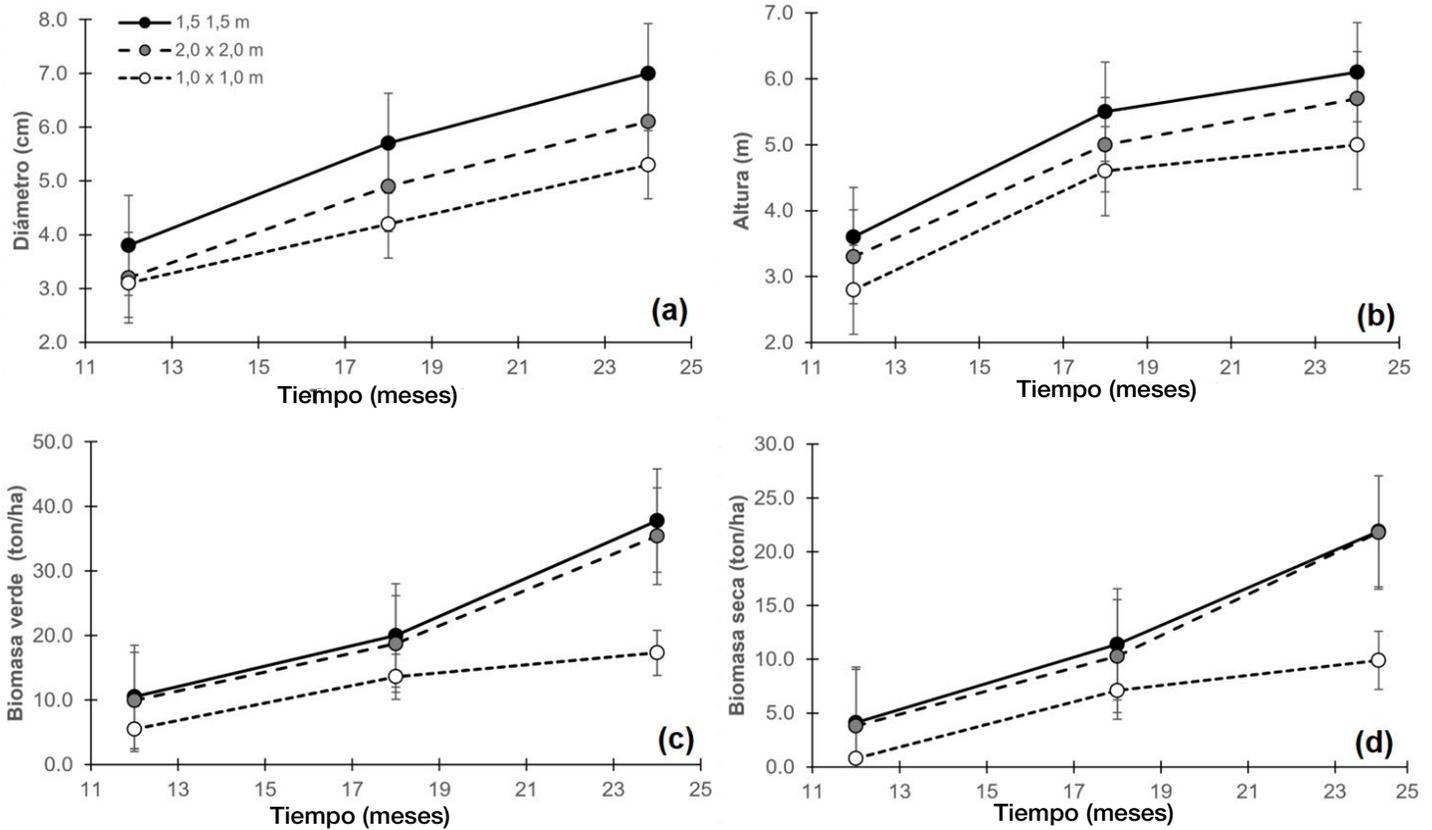


Figura 2. Variación del crecimiento diamétrico (a), altura total (b), biomasa verde (c) y seca (d) de *L. macrophylla* con tres espaciamientos de siembra evaluados a los 12, 18 y 24 meses en Cortes, Honduras.

Figure 2. Variation of the diameter growth (a), total height (b), green biomass (c) and dry biomass (d) of *L. macrophylla* with three planting spacings evaluated at 12, 18 and 24 months old in Cortes, Honduras.

2013), es posterior a los 18 meses en que el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m dominó en crecimiento debido a que la especie desarrolló la copa suficientemente compacta para el desarrollo de actividades fisiológicas necesaria para sobrevivencia del árbol (Calix-Mejía, 2016), esto se denotó al presentar una mortalidad inferior al 10 %, significativamente menor a los tres espaciamiento considerando óptima para plantaciones bioenergéticas, en cambio la densidad de 2,0 x 2,0 m al disponer un mayor espacio de apertura los árboles debieron competir por el espacio con hierbas y malezas, lo cual generó estrés en los individuos y con ello pérdida de energía en crecimiento radicular (Lu et al., 2017). Incidiendo que la mortalidad fuese del 22 % considerada como moderadamente elevada según Park et al. (2004) para este tipo de cultivos. En el caso del espaciamiento 1,0 x 1,0 m producto de la alta densidad los individuos entran en una alta competencia, reduciendo la copa de individuo y centrando los recursos energéticos en crecimiento apical de ahí se note la reducción sustancial en diámetro con respecto a los otros dos espaciamientos, es en esta densidad en donde se dio una elevada mortalidad (39 %)

considerada como elevada y generada por la competencia intensa (Park et al., 2004). Lu et al. (2017) mencionan para plantaciones dendroenergéticas el espaciamiento es fundamental para generar una acumulación óptima de biomasa, puesto que son cultivos con ciclos de cosecha inferiores a 4 años, se debe desarrollar plantaciones que cuenten con baja mortalidad, un tamaño de árbol que sea simple de cosechar y transportar en el sitio, por lo que en cuanto altura y diámetro el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m mostró el mejor resultado.

En cuanto a la acumulación de biomasa verde y seca (figura 2c y 2d) se obtuvo el mismo comportamiento y significaron entre la biomasa verde y seca. Los análisis determinaron que no se dio una diferencia de acumulación de biomasa a los 12 meses entre los tres espaciamientos, presentando una acumulación de biomasa verde de en promedio de 9,2 ton/ha y de biomasa seca de 4,6 ton/ha. A los 18 y 24 meses que el espaciamiento 1,0 x 1,0 m mostró la acumulación de biomasa significativamente menor, en comparación a los espaciamientos de 1,5 x 1,5 m y 2,0 x 2,0 m que no mostraron diferencias entre.

Cuadro 1. Estimaciones del contenido de humedad, densidad y poder calórico en condición verde y seca de *L. macrophylla* cultivada con tres espaciamientos en Cortes, Honduras.

Table 1. Estimates of moisture content, density and power in green and dry conditions of *L. macrophylla* cultivated with three spacings in Cortes, Honduras.

Edad de la plantación	Espaciamiento de siembra (m)	Densidad (g/cm ³)			Contenido de humedad (%)	Poder calórico (kJ/kg)	
		verde	seca	anhidra		Verde	Seco
12	1,5 x 1,5	0,71 a (0,02)	0,48 a (0,03)	0,47 a (0,02)	12,64 a (3,04)	16476,59 a (3,14)	18949,34 a (2,55)
	2,0 x 2,0	0,73 a (0,01)	0,51 a (0,02)	0,47 a (0,02)	14,00 a (2,16)	16635,58 a (2,19)	19129,25 a (3,42)
	1,0 x 1,0	0,72 a (0,02)	0,51 a (0,01)	0,45 a (0,03)	13,46 a (2,14)	16409,95 a (3,01)	18874,35 a (2,47)
18	1,5 x 1,5	0,71 a (0,02)	0,54 a (0,02)	0,46 a (0,02)	15,87 a (2,02)	15966,14 a (2,99)	20459,76 a (2,00)
	2,0 x 2,0	0,73 a (0,02)	0,57 b (0,01)	0,50 b (0,02)	22,17 b (3,08)	15221,40 b (3,12)	19505,80 b (3,15)
	1,0 x 1,0	0,72 a (0,02)	0,57 b (0,01)	0,53 b (0,01)	18,20 b (2,14)	15543,56 b (3,15)	18836,37 b (3,45)
24	1,5 x 1,5	0,73 a (0,01)	0,59 a (0,01)	0,58 a (0,02)	45,00 a (1,42)	14999,17 a (0,02)	19184,50 a (1,99)
	2,0 x 2,0	0,74 a (0,01)	0,58 a (0,01)	0,57 a (0,01)	51,00 b (2,27)	15090,42 a (0,02)	19512,19 a (2,15)
	1,0 x 1,0	0,73 a (0,01)	0,56 a (0,02)	0,56 a (0,02)	51,00 b (2,52)	15409,82 a (0,02)	18690,88 b (3,25)

* Valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación y letras diferentes para cada parámetro significan diferencias estadísticas a un 95 %.

* Values in parentheses correspond to coefficient of variation and different letters for each parameter mean statistical differences to 95 %.

A los 18 meses la diferencia de acumulación de biomasa 1,0 x 1,0 m con respecto a los otros dos espaciamientos (tanto en biomasa verde como seca) fue de 6,8 ton/ha y a los 24 meses la diferencia fue de 22,8 ton/ha.

Lo resultados de biomasa obtenidos del espaciamiento de 1,5 x 1,5 m y 2,0 x 2,0 m, están dentro de los rangos de aceptabilidad de plantaciones de biomasa en regiones tropicales propuesto por [Gonzales-Salazar et al. \(2016\)](#) que menciona que en los 2 primeros años debe ser de 18 a 28 ton/ha de biomasa seca para 12 especies tropicales, acumulaciones en 24 meses menores a las 10 ton/ha denotan tres posibles factores: material de baja calidad, densidad inadecuada del cultivo que generó elevados índices de mortalidad y sitio con deficiencias nutricionales. En caso del sitio se encontró una baja adaptación de la *L. macrophylla* al espaciamiento lo cual incidió en el rendimiento, [Calix-Mejía \(2016\)](#) recomienda en estos casos la eliminación de implementación de espaciamientos poco productivos.

Propiedades calorimétricas de las plantaciones

Se determinó que la densidad de la madera en condición verde (cuadro 1) entre los tres espaciamientos no mostró diferencias significativas en los 12 y 18 meses, mostrando variaciones de 0,71 a 0,73; es a los 24 meses en la que se obtuvo que el espaciamiento de 1,0 x 1,0 m presentó una densidad (0,72 g/cm³) significativamente menor a los otros dos espaciamientos (en promedio 0,735 g/cm³). Sin embargo, con la densidad seca (con contenido de humedad del 12 %) y anhidra se obtuvo que a los 12 meses no hay diferencia entre los tres espaciamientos

(en promedio 0,50 g/cm³ en densidad seca y 0,465 g/cm³ en densidad anhidra). A los 18 y 24 meses el comportamiento varió, del espaciamiento de 1,5 x 1,5 m obtuvo las densidades significativamente mayores (superiores a 0,53 g/cm³) mientras los espaciamientos de 1,0 x 1,0 m y 2,0 x 2,0 m mostraron valores inferiores a 0,57 g/cm³ y no significativos entre ambas densidades.

El no encontrar diferencias entre los valores de densidad de la madera entre los espaciamientos se debe según [Pérez y Kanninen \(2012\)](#) a que las variaciones en cuanto la formación de anillos de crecimiento y porosidad de la madera no ha sido significativa, debido a ser procedencias genéticas similares, además que por características biológicas de la especie muestra una facilidad de adaptación a condiciones de alta densidad y que en periodos cortos de vida no han impactado significativamente en la madera, [Calix-mejía \(2016\)](#) destaca que seis especies del género *Leucaena* tienden a mostrar variaciones en propiedades de densidad posterior a los 30 meses de establecido, esto debido los primeros 24 meses la especie busca una adaptación de copa y condiciones de crecimiento para tener mayor sobrevivencia posible con ello el impacto de la densidad es inferior.

En cuanto el contenido de humedad (cuadro 1) a los 12 meses no se presentaron diferencias en las tres densidades que mostraron un valor promedio de 13,36 %; en cambio a los 18 y 24 meses se obtuvo que el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m presentó el contenido de humedad significativamente menor (a los 18 meses del 15,87 % y los 24 meses de 45,0 %), mientras los

otros dos espaciamientos formaron una agrupación con contenidos de humedad superiores (20,18 % a los 18 meses y 51,00 % a los 24 meses).

La variación entre contenidos de humedad se puede deber a dos razones según menciona Lee (2013) que son: 1. Estrategias de la planta en la gestión hídrica acorde a la competencia de otros individuos y 2. Acumulación de agua según los requerimientos metabólicos de organismo, la diferencia en el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m con respecto a los otros es que la especie cuenta con espacio óptimo de desarrollo en alta densidad tiende a acumular agua por competencia de árboles y en baja densidad es una estrategia contra competencia de hierbas.

La estimación de poder calórico determinó el mismo comportamiento en la estimación de estado verde y seco, a los 12 meses de edad no se dieron variaciones significativas entre los tres espaciamientos teniendo una variación de 16 409,95 a 16 635,85 kJ/kg en condición verde y de 18 874,36 a 16 129,25 kJ/kg en condición seca. A los 18 y 24 meses se encontró que el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m mostró los poderes calóricos significativamente mayores (en condición verde de 15 966,15 kJ/kg y seco de 20 459,76 kJ/kg), en cambio los espaciamientos de 1,0 x 1,0 m y 2,0 x 2,0 presentaron datos inferiores a 15 600 kJ/kg en condición verde y 19 500 kJ/kg en condición seca.

Por lo cual se ha determinado que el poder calórico de las *L. macrophylla* se ve influenciado por el contenido de humedad en mayor medida mientras que la densidad de la madera no aportó diferencia significativa alguna, esto es similar a los resultados de Salazar-Zeledón (2016) con *Gmelina arborea* en condiciones de plantación dendroenergética que densidades de madera similares pero con cambio contenido de humedad incidió en la capacidad calórica, en este caso contenidos de humedad mayores afectaron negativamente el poder calórico debido a que se requiere mayor energía para la eliminación del agua y con ello disminuye capacidad energética de la especie, Golzalez-Salazar et al. (2016) menciona este comportamiento es similar a diez especies de Eucalipto que en densidades de superiores a 16 000 árb/ha reducen en un 33 % el poder calórico debido ha aumento del 8 % de la humedad presente en el sitio.

Los valores de poder calórico obtenidos son considerados como excelentes para uso bioenergético en especial con el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m, Pancel (2016) menciona valores superiores a 17 000 kJ/kg en biomasa seca es un valor ideal en el que el 33 % de la energía generada se implementa para combustionar el material mientras el 67 % es implementado como energía para atención de necesidades, si bien los contenidos de humedad son elevados, realizar un pre secado natural de la madera generaría pérdida del 55 % del contenido humedad en primeros 13 días con ello se generaría un aumento en

la eficiencia del material, por lo que es una especie con adecuación a uso energético pero con limitaciones por aspectos biológicos a ser implementado el densidades superiores a 10 000 árb/ha.

Conclusiones

En los primeros 12 meses de edad de la plantaciones de *L. macrophylla* no mostró diferencias entre los tres espaciamientos en cuanto crecimiento, diámetro (3,7 cm), altura (3,4 m) y acumulación de biomasa seca y verde (9,2 y 4,6 ton/ha respectivamente), es posterior a 18 meses en las que se obtuvo que el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m mostró el mayor crecimiento diámetro y de biomasa, en cambio el espaciamiento de 1,0 x 1,0 m mostró menor crecimiento y acumulación de biomasa a los 18 y 24 meses (una deficiencia de acumulación de biomasa de 6,8 ton/ha a los 18 meses y de 322,8 ton/ha a los 24 meses), esto debido a aspecto de adaptabilidad de la especie, competencia y mortalidad.

En cuanto la densidad verde seca y anhidra, no se encontraron diferencias significativas entre los espaciamientos a los 12, 18 y 24 meses; en cambio el contenido de humedad fue significativamente menor en el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m (45 % a los 24 meses) en comparación a los otros dos espaciamientos a los 18 y 24 meses, lo cual incidió que obtuviera los valores calóricos significativamente mayores al final de experimento (superiores a 15 600 kJ/kg) mientras el espaciamiento de 1,0 x 1,0 m presentó los menores. Siendo con ello el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m el que mejor se adaptó para la especie en uso bioenergético.

Finalmente no se evidenciaron diferencias significativas entre los tres espaciamientos de plantación con respecto al poder calorífico, por lo que no se puede afirmar que los espaciamientos entre árboles afecten la densidad de la especie a 24 meses de crecimiento pero si generó cambio en el contenido de humedad lo cual influyó en el poder calórico estimado para cada espaciamiento, por lo que el espaciamiento con *L. macrophylla* afecta directamente la humedad de la biomasa y con ello el poder calórico.

Recomendaciones

Realizar estudios similares en otras industrias que utilizan biomasa para la generación de energía, o entidades productivas para el establecimiento de sus futuros bosques energéticos con *L. macrophylla*, de manera que les permita conocer con anticipación que espaciamientos deben utilizar en correspondencia con las condiciones edafo-climáticas de la zona.

Agradecimientos

A la Empresa INCAL S.A. de C.V. del Grupo CALIDRA, por su apoyo financiero para la elaboración de dicha investigación. Al MSc. Juan Carlos Valverde y al Dr. Dagoberto Arias por las observaciones y mejoras planteadas para publicación de manuscrito.

Referencias

- Aguilera, P., 2009. " Diagnóstico del subsector hidrocarburos". En base de datos de DGE-Honduras.
- Anbumozhi, V. (2005) Integration of sustainable systems for agro-eco industry development in rural areas. International study meeting on sustainable rural development and employment generation in rural areas, Asian Productivity Organization, Hyderabad, 26–30
- Baettig R., Yañez A. & Albornoz A. (2010). Cultivos Dendroenergéticos de Híbridos de Alamo para la obtención de biocombustibles en Chile: estado del arte. Universidad de Talca, Centro Tecnológico del Alamo, Chile.
- Brown, S.; Gillespe, A & Lugo, A.E (1989). Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *Revista Forest Science*, 35(4), 881 – 902
- Calix -Mejía, L M. (2016). Establecimiento de un sistema de monitoreo para el estudio de la adaptabilidad de la *Leucaena macrophylla* en plantaciones dendroenergéticas, en el municipio de Potrerillo, Cortés; Honduras. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque, Honduras 151 p.
- CEPAL, 2009. "Istmo centroamericano: Las fuentes de energía renovable y el cumplimiento de la estrategia 2020". Disponible en: http://www.ceaconline.org/pdf/CEPAL_FUENTES_RENOVABLES.pdf
- Climate-Data.org. (2012). Climate-Data.org. Recuperado el 26 de febrero de 2016, de <http://es.climate-data.org/location/32119/>
- Colondette, JL; Gomes, CM; Cabral, CP. (2014). The Brazilian wood biomass supply and utilization focusing on eucalypt. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1:2
- COMMEND, 2011. "LEAP software". Community for energy, environment and development. Disponible en: <http://www.energycommunity.org/>
- FAO. (2013). Dendroenergía, (en línea). Recuperado el 13 de Julio de 2017, de <http://www.fao.org/forestry/energy/es/>
- Flores, WC. (2012). El sector energético de Honduras: Diagnóstico y política energética. San Pedro Sula, Honduras. 20p.
- Gonzalez-Salazar, M., Venturini, M., Poganietz, W., Finkenrath, M., Ruggero, P. (2016). Methodology for improving the reliability of biomass energy potential estimation, *Biomass and Bioenergy*, 88: 43-58.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología Basada en Zonas de Vida*. (H. J. Saa, Trad.) San José, Costa Rica.
- ICF. (2015). Atlas Forestal del Municipio de Potrerillos, Cortes. Tegucigalpa, Honduras.
- Lee, C. (2013). Bioenergy projects and sustainable development: wich project types offer the greatest benefits. *Climate and Development Magazine*. Stockholm Environment Institute, Seattle. Estados Unidos.
- Lu, HR; Hanandeh, A, Wi, M. (2017). Assessment of bioenergy production from mid-rotation thinning of hardwood plantation: life cycle assessment and cost analysis. *Clean Techn Environ Policy*, 19:2021–2040
- Pancel, L. (2016). *Basic outline of tree plantations in the tropics*. Amsterdam, Netherlands: Springer. 356p.
- Park, B; Yania, R; Sahm, J; Ballard, B; Abrahamson, L. (2004). Wood Ash Effects on Soil Solution and Nutrient Budgets in A Willow Bioenergy Plantation. *Water, Air, and Soil Pollution* 159: 209-224
- Pérez, D. y M. Kanninen. (2002). Heartwood, sapwood y bark content and wood specific gravity of young and mature *Tectona grandis* trees in Costa Rica. *Silva Fennica* 37(1):45-54.
- Pérez, J., y Osorio, L. (2014). *Biomasa forestal como alternativa energética: Análisis silvicultural, técnico y financiero de proyectos* (I ed.). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Salazar-Zeledón, E. (2016). Influencia de altas densidades de plantación en el poder calorífico y propiedades físicas de la madera para la especie *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 30: 51-56.

Este artículo debe citarse como:

Fajardo-Canales, GE; Mejía-Pineda, N; Gutiérrez-Balladares, J. (2018). Potencial calórico y acumulación de biomasa de la especie *Leucaena macrophylla* Benth. establecida con tres tipos de espaciamento en Cortes, Honduras. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15 (Supl. 01): 80-87. doi. 10.18845/rfmk.v15i1.3840