

Influencia de **altas densidades** de plantación en el **poder calorífico** y propiedades físicas de la madera para la especie ***Gmelina arborea* Roxb. ex Sm.**

Estephanía Salazar-Zeledón<sup>1</sup>

## Resumen

Se determinó la relación entre el poder calorífico de la especie *Gmelina arborea* y la densidad de plantación en cultivos de corta rotación, en Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Se evaluaron dos propiedades físicas de la madera; el contenido de humedad (%), densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y la relación con el poder calorífico ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ) para tres tipos de densidad de plantación a 5000 árb/ha, 10000 árb/ha y 20000 árb/ha, a un año de edad en distintas posiciones del árbol. La variación del poder calorífico encontrada en los tres tratamientos estuvo entre 15840,98  $\text{kJ}/\text{kg}$  y 16134,95  $\text{kJ}/\text{kg}$ . El mayor poder calorífico fue el de densidad de siembra con 20000 árb/ha. Se concluyó que la densidad de la plantación (árb/ha) no afectó el poder calorífico de la especie pero sí las propiedades físicas de la madera que al mismo tiempo influyen en el aumento y disminución de esta propiedad química.

## Abstract

### Energy potential influence of high density plantations and physical properties of *Gmelina arborea* wood

The objective of this study was to determine the existence of any relationship between the energy potential of the species *Gmelina arborea* and density of planting short rotation crops, it located in the Ingenio Taboga, Cañas, Guanacaste-Costa Rica. Two physical properties of wood were evaluated that corresponding to moisture content (%) and bulk density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) for three types of planting density to 5000 trees/ha, 10000 trees/ha and 20000 trees/ha and at different positions along shaft of the tree; then, the potential energy ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ) was determined equally to the three planting densities. The range of variation of the calorific value for the three treatments was 15840,98  $\text{kJ}/\text{kg}$  to 16134,95  $\text{kJ}/\text{kg}$  and had the greatest calorific value was that of 20000 trees/ha. It's concluded that the density of planting (tree/

1. Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal, Estudiante Programa de Maestría Ciencias Forestales; Cartago, Costa Rica; [tefaszf@yahoo.es](mailto:tefaszf@yahoo.es)

Recibido: 29/04/2015  
Aceptado: 13/05/2015

**Palabras clave:** *Gmelina arborea*, poder calorífico, cultivos energéticos, Costa Rica.

## Introducción

Debido a la necesidad de reducir emisiones de CO<sub>2</sub> y la enorme dependencia de los combustibles fósiles en el mundo, surgió la propuesta de utilizar la biomasa como materia prima renovable para la producción de bioenergía; principalmente fue de gran atractivo la biomasa celulósica, proveniente de residuos agrícolas y de subproductos de actividades como la industria forestal y maderera, porque son recursos renovables y disponibles en abundancia que no compiten con cultivos para la alimentación humana (Khanal, Surampalli, Zhang, Lamsal, Tyagi, y Kao, 2010).

En el caso del sector forestal, se trabajan primordialmente las plantaciones dendroenergéticas, que son cultivos establecidos a altas densidades con el objetivo de maximizar la obtención de biomasa, ya sea para producir biocombustibles, electricidad o calor (Muñoz, 2009). De acuerdo a la Confederación Nacional de Organizaciones de Silvicultores et al. (2014), existen dos tipos de clasificación para plantaciones energéticas con respecto a su tamaño de densidad: la primera y la más utilizada es a partir de un modelo Europeo, donde se establecen de 5000 a 36000 árboles por hectárea y la segunda hace referencia al modelo Americano donde se plantan de 1000 a 2000 árboles por hectárea.

Para el modelo Americano las rotaciones son de cuatro a seis años, existe mayor flexibilidad de producción de biomasa, menos corteza, menos humedad por ende el control de patologías es más fácil y el costo de plantación es menor. Sin embargo, en el modelo Europeo el turno de corta es cada tres años y al mismo tiempo se aprovechan los rebrotes; lo que da un alto rendimiento en producción de biomasa y los costos de cosecha son bajos (Confederación Nacional de Organizaciones de Silvicultores et al., 2014).

Sin embargo, no sólo la densidad de plantación y la generación de biomasa forestal son componentes que toma en cuenta la dendroenergía, porque si lo que se quiere producir es un producto final con alto contenido energético, también es fundamental conocer las especies forestales a sembrar y estas pueden ser seleccionadas de acuerdo a su producción de materia seca por unidad de superficie y a las características de su madera como combustible (Baettig, Yáñez y Albornoz, 2010).

ha) doesn't affect the calorific value of the species but the physical properties of wood at the same time influence the rise and fall of this chemical property.

**Keywords:** *Gmelina arborea*, calorific value, energy crops, Costa Rica.

Aunado a esto, se debe tener cuenta el turno de cosecha de la plantación, pues Sixto et al. (2010) indica que la especie forestal durante el primer año de establecida a altas densidades posee un crecimiento más bajo, poca extensión radicular y superficie fotosintética comparado a los otros años; donde aumenta la cantidad de fibras y se da un aumento en el número de rebrotes por árbol.

De acuerdo a la FAO (2008), existen numerosos estudios sobre especies forestales plantadas con fines energéticos como *Acacia mangium*, *Salix* sp., *Populus* sp. y *Gmelina arborea* en países como Suiza, España, Estados Unidos, Reino Unido y en América del Sur, principalmente Brasil y Chile con el *Eucalyptus* sp., de los pocos países que han investigado durante décadas la producción a gran escala de energía derivada de la madera.

Actualmente, en Costa Rica también se investigan distintas especies forestales con fines energéticos como el *Acacia mangium*, *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Vochysia guatemalensis* y otras especies forestales de reforestación con fines energéticos, entre otras (Moya & Tenorio, 2013); pero se carece de información sobre cómo puede afectar la densidad de plantación el poder calorífico de la especie.

Es importante destacar que los cultivos forestales con fines energéticos, se ven directamente afectados por ejemplo en su poder calorífico, el cual es un excelente parámetro para validar el poder calorífico combustible de la biomasa (De Paula Protásio, Bufalino, Tonoli, Couto, Trugilho, y Júnior, 2011), ya sea por su identidad genética, fertilización, características edáficas y climáticas del sitio pero también por los distanciamientos utilizados (Baettig et al., 2010).

En este trabajo se propuso determinar si existe relación entre el poder calorífico de la especie *Gmelina arborea* con las propiedades físicas de la madera y la alta densidad de plantación, ubicada en el Ingenio Taboga, Cañas, Guanacaste-Costa Rica en condiciones de Bosque Húmedo Premontano Transición a Tropical.

## Material y métodos

### Descripción del sitio de plantaciones de corta rotación

El material fue extraído de una plantación de *Gmelina arborea* con un año de edad con fines dendroenergéticos

a tres distintas densidades de plantación (5000 árb/ha (1 x 1 m), 10000 árb/ha (1 x 0,7 m) y 20000 árb/ha (0,7 x 0,4 m)). Para cada densidad se estableció un diseño de plantación en tres bolillo) que consiste en crear filas paralelas, donde cada planta ocupa en el terreno uno de los vértices que formará el triángulo equilátero y que al mismo tiempo se guarda la misma distancia entre plantas dentro de cada fila. La misma está situada dentro del Ingenio Taboga ubicada en el cantón de Cañas de la provincia de Guanacaste y forma parte del Bosque Húmedo Premontano Transición a Tropical a 10°20' N, 85°10' W (Solís, González, Brenes, y Hernández, 2013).

### Recolección y preparación de muestras

Dentro de una plantación de *Gmelina arborea* y *Gliricidia sepium*, ambas con un año de edad, que consta de 6 parcelas para las densidades de 5000, 10000 y 20000 árb/ha, con una dimensión de 30 x 30 m cada una; se eligió un bloque experimental al azar que consistió en una parcela para cada tipo de densidad de plantación de la especie *Gmelina arborea*, donde se recolectaron 5 árboles por cada parcela, para un total de 15 árboles. Para cada árbol se dejaron 10 cm a partir de la base del árbol y se tomaron tres discos transversales en tres posiciones por árbol, en la base del árbol talado, en la mitad y una final a los 4 m. Cada muestra se guardó en bolsas de plástico (40 x 24 cm) y se rotularon de acuerdo a localización en el árbol y tipo de densidad de plantación. Posteriormente, se evaluaron tres propiedades de la madera:

**Contenido de Humedad:** se realizó a partir de la norma ASTM D 1762-84 (ASTM, 2013 b), donde se tomaron las tres piezas de madera por disco y por tipo de densidad de plantación, se pesaron con una balanza OCONY con precisión de 0,01 g y se colocaron a 103 °C de temperatura en el horno (marca Blue M) por 24 horas para volver a pesar la muestra. Dicha humedad fue calculada con la ecuación 1:

$$CH(\%) = \frac{(\text{Peso verde} - \text{Peso seco})}{\text{Peso verde}} * 100 \quad (1)$$

**Densidad aparente:** Al igual que en el contenido de humedad, se colocaron tres piezas por disco y se determinó el peso verde (g) con una balanza OCONY con precisión 0,01 g y el volumen verde con una balanza OHAUS con precisión de 0,01 g más un recipiente de 1500 ml, y mediante el principio de Arquímedes (desplazamiento de volumen) se determinó el volumen de cada muestra; el mismo procedimiento se realizó para las muestras a contenido de humedad cero. Para obtener la densidad inicial y aparente de la madera se usó la ecuación 2:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso(g)}}{\text{Volumen(cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

**Poder calorífico (PC):** las muestras llevadas a contenido de humedad al 0 %, fueron colocadas en un molino donde la madera se transformó en partículas más pequeñas (aserrín), luego se tamizó en una malla 60 mesh para obtener partículas de 0,25 mm, de ahí se extrajeron tres muestras de un gramo cada una y se colocaron en un tubo de ensayo.

Seguidamente, los tubos de ensayo se sometieron a una serie de pruebas en la bomba calorimétrica de Parr's de acuerdo a la norma ASTM D-5865-04 (2003), que consistió en estimar el poder calorífico cuando las partículas de madera se quemaban a un volumen constante. Se le inyectó el oxígeno necesario para la combustión y este 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 (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH), y con los datos registrados por la bomba calorimétrica se procedió a calcular el poder calorífico con la ecuación 3:

$$PC = \left( PCAB * \frac{Ti - Tf}{\text{masa muestra}} \right) * 4.184 \quad (3)$$

Donde:

PC = Poder calorífico kJ/kg

PCAB = Poder Calorífico del Ácido Benzoico en Kcal/kg

Ti = Temperatura inicial (°C)

Tf = Temperatura final (°C)

4,184 = Factor de conversión de Kcal a KJ

### Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo donde se calculó la media y coeficiente de variación para las propiedades físicas y poder calorífico por cada posición de los discos a lo largo del árbol y también para las distintas densidades de plantación.

Luego, se aplicó un ANDEVA con un nivel de confianza del 95 % para determinar la variabilidad de la densidad aparente, contenido de humedad y poder calorífico para los distintos tratamientos de densidad de plantación y posiciones en el árbol. Además, se aplicó una prueba de Tukey para determinar si existen diferencias significativas entre medias de estos parámetros.

## Resultados

### Evaluación de propiedades físicas

Las propiedades físicas por densidad de plantación para las distintas posiciones de los discos transversales extraídos del árbol se muestran en el cuadro 1. En el

Cuadro 1. Propiedades físicas para la especie *Gmelina arborea* por posición de discos transversales en el árbol para tres densidades de plantación (árb/ha), Cañas, Guanacaste.

Table 1. Physics properties of *Gmelina arborea* for the disc transversal position in tree, for three planting densities (tree/ha), Cañas, Guanacaste.

Densidad de plantación (árb/ha)	Posición	Contenido de humedad (%)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
5000	Altura Total	121,13 (4,91)A	0,33 (10,70)A
	Medio	130,48 (5,36)A	0,33 (5,66)A
	Base	120,25 (5,36)A	0,45 (5,55)B
10000	Altura Total	116,59 (3,73)A	0,32 (2,84)A
	Medio	115,47 (9,78)A	0,33 (9,61)A
	Base	166,29 (2,54)B	0,45 (2,88)B
20000	Altura Total	150,18 (4,06)B	0,30 (7,19)A
	Medio	118,63 (5,79)A	0,29 (6,11)A
	Base	146,36 (2,46)B	0,42 (4,69)B

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

Cuadro 2. Propiedades físicas y poder calorífico para especie *Gmelina arborea* para tres densidades de plantación (árb/ha), Cañas, Guanacaste.

Table 2. Physics properties and calorific power of *Gmelina arborea* for three planting densities (tree/ha), Cañas, Guanacaste.

Densidad de plantación (árb/ha)	Potencial energético (kJ/kg)	Contenido de humedad (%)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
5000	16133,80 (2,87)A	120,25 (5,36)A	0,45 (5,55)AB
10000	15937,05 (3,74)A	166,29 (2,54)B	0,45 (2,88)B
20000	16151,94 (3,50)A	146,36 (2,46)C	0,42 (4,69)A

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

contenido de humedad del tratamiento de 5000 árb/ha hubo una variación de 56,00 % a 56,86 % por posición, en el de 10000 árb/ha de 53,48 % a 61,24 % y para los 20000 árb/ha de 49,84 % a 54,53 %. Sin embargo, para las densidades de plantación con 5000 y 20000 árb/ha no se presentaron diferencias significativas para ninguna de las tres posiciones ( $p > 0,05$ ); para el caso de los 10000 árb/ha solamente la posición de la base tuvo diferencias significativas con respecto a altura total y la mitad. En el caso de la posición en el árbol comparado con las tres densidades de plantación evaluadas, se obtiene que el contenido de humedad en la altura total varió de 51,55 % a 56,00 %, en el medio 49,84 % a 56,86 % y en la base de 56,49 % a 61,24 %; no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) por posición en el árbol para los tres tipos de densidad de plantación.

La densidad aparente de la madera para el tratamiento de 5000 árb/ha varió de acuerdo a la posición en el árbol de 0,35 g/cm<sup>3</sup> a 0,46 g/cm<sup>3</sup>, para los 10000 árb/ha de 0,33 g/cm<sup>3</sup> a 0,46 g/cm<sup>3</sup> y en los 20000 árb/ha de 0,29 g/cm<sup>3</sup> a 0,44 g/cm<sup>3</sup> (Cuadro 1); en cada una de las densidades de plantación se observó que sólo para la posición en la base hubo diferencias significativas y al mismo tiempo se presentó el valor más alto de densidad aparente ( $p < 0,05$ ). Por otro lado, al comparar la altura total, el medio y la base para las tres densidades de plantación,

se obtuvo que la base varió de 0,44 g/cm<sup>3</sup> a 0,46 g/cm<sup>3</sup>, el medio de 0,30 g/cm<sup>3</sup> a 0,38 g/cm<sup>3</sup> y la altura total de 0,29 g/cm<sup>3</sup> a 0,35 g/cm<sup>3</sup>; para las dos primeras posiciones no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre densidades de plantación, en el caso de la altura total se obtuvo que existen diferencias significativas ( $p < 0,005$ ) entre las densidades de 5000 árb/ha, que posee el mayor valor de densidad aparente, y 20000 árb/ha.

### Evaluación del poder calorífico

El poder calorífico de las tres densidades de plantación se muestra en el cuadro 2, se obtuvo una variación de 15 840,98 kJ/kg a 16 134,95 kJ/kg; el mayor valor lo obtuvo la densidad de plantación de 20000 árb/ha con 16134,95 kJ/kg y el menor valor la densidad de plantación de 5000 árb/ha con 15840,98 kJ/kg; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas estadísticamente ( $p > 0,05$ ) entre densidades de plantación.

## Discusión

### Propiedades físicas

De acuerdo a los valores de contenido de humedad presentados en el cuadro 1, el de mayor valor promedio

con respecto al tratamiento de densidad de plantación, fue el de 5000 árb/ha; además, se obtuvo el mayor porcentaje en la base del árbol para las densidades de plantación de 10000 y 20000 árb/ha, en el caso de los 5000 árb/ha se dio en el medio y la base. Ananías (2004) y Tenorio Monge (2010), indican que las diferencias en el contenido de humedad entre árboles de la misma especie es causado por diferentes factores ambientales, de sitio, edad, diámetro, altura, diferenciación en las fibras y anillos de crecimiento. Así mismo, Rivera Samaniego (2014), realizó un estudio para *Guazuma crinita*, para observar la distribución del contenido de humedad en la base, medio y ápice, igualmente obtuvo el mayor porcentaje en la base, él explica que esto se debe a numerosos factores dentro y fuera del árbol que provocan variación en la estructura física como tamaño de las fibras y grosor de la pared celular por ejemplo y química de los componentes de la madera; además, cuando se habla de madera juvenil, ésta contiene mayormente cantidad de agua por su desarrollo de albura, por lo que el contenido de humedad va a ser más alto (Ananías, 2004).

En el caso de la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), los valores más altos se obtuvieron en los 5000 árb/ha para la densidad de plantación y en cuanto a la posición se concentró en la base del árbol como se observa en el cuadro 1; Pérez y Kanninen (2002) y Moya y Ledezma (2003) mencionan, que la densidad aparente tiende a ser mayor en la base del árbol que en la altura total de los árboles. Alfini (2013), indica que la densidad aparente al tomar en cuenta el volumen y peso de la madera, considera los espacios porosos; por tanto, dicha densidad va a variar de acuerdo a la estructura celular, composición química, grosor de las paredes, el tamaño y cantidad de poros, ancho de anillos de crecimiento, entre otros factores. Esto explica que la mayor concentración de densidad aparente se da en la base del árbol y al mismo tiempo en la densidad de plantación más baja con 5000 árb/ha, ya que el desarrollo en las otras densidades de plantación es mayormente en altura y no en diámetro. Además, la densidad aparente se ve influenciada por el contenido de humedad, pues un aumento en el contenido de humedad significa un aumento en la masa de la madera por la incorporación de agua (Alfini, 2013).

Según Moglia et al. (2014), la densidad aparente es una relación masa y volumen que varía con respecto al contenido de agua en la madera; Araya Bravo et al. (2008) menciona que la cantidad de “sustancia madera” con respecto al volumen lleno de aire en una muestra influye directamente en la madera a consumirse, a mayor densidad aparente el poder calorífico aumenta; sin embargo, este es afectado por el contenido de agua que afecta las propiedades químicas y físicas de la madera, característica a considerar cuando se quiere estudiar procesos de transformación en la madera (Araya Bravo et al., 2008).

## Poder calorífico

Como se observa en el cuadro 2, el mayor poder calorífico fue para el tratamiento de 20000 árb/ha que al mismo tiempo posee el menor contenido de humedad. También, se muestra que a menor contenido de humedad el poder calorífico aumentó; esta relación concuerda con literatura consultada, donde se afirma que el poder calorífico es directamente afectado por la humedad del material, ya que cuando la biomasa presenta mayor humedad el calor generado en la combustión es utilizado en una parte para evaporar el agua, lo que provoca una disminución en el poder calorífico (Martínez Pérez, Pedraza Bucio, Apolinar Cortes, López Miranda, y Rutiaga Quiñones (2012). Por otro lado, los valores de poder calorífico de las tres densidades de plantación (árboles/ha) concuerdan con los presentados de albura para 15 especies forestales en Costa Rica (Zelada, 2012), lo que es razonable ya que la edad de la plantación es de apenas un año y por tanto la madera está en etapa joven donde solo presenta la médula y albura.

## Conclusiones

Para las densidades de 10000 y 20000 árb/ha, el mayor contenido de humedad se concentró en la base con 61,24 % y 54,53 % respectivamente. Para el tratamiento de 5 000 árb/ha el mayor contenido de humedad se distribuyó en la base y el medio con 56,49 % y 56,86 %.

La densidad aparente, con respecto a la posición del árbol para las tres densidades de plantación, presentó el mayor valor en la base del árbol con 0,46  $\text{g/m}^3$  para los 5000 árb/ha y 10000 árb/ha y con 0,44  $\text{g/cm}^3$  para los 20000 árb/ha.

El más alto valor de poder calorífico lo obtuvo la densidad de plantación de 20000 árb/ha con 16134,95 kJ/kg, seguido por los 10000 árb/ha con 15912,02 kJ/kg y por último 15840,98 kJ/kg para los 5000 árb/ha.

Al no existir diferencias significativas entre las tres densidades de plantación con respecto al poder calorífico, no se puede afirmar que los espaciamientos entre árboles afecten esta propiedad química; sin embargo, el poder calorífico se es afectado por el contenido de humedad y densidad aparente ligeramente al comparar las tres densidades de plantación.

## Referencias

- Alfini, F., Contreras, S., Mestres, J., Andía, I., Frem, J., Carvajal, M., Urbietta, C., Riveros, F & Galún, D. (2013). Manual de clasificación y secado de la madera de Lengua. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Industria de la Nación.
- Ananías, R. (2004). Física de la madera. Notas de curso. Universidad del Bio-Bio. 41p.

- Araya Bravo, J., Duprat Sáenz, C., y Parra Olave, M. (2008). Caracterización de los cultivos y residuos de vegetales derivados de la cosecha de productos forestales y agrícolas en Chile. Santiago, Chile: CONAF.
- ASTM (American Society for, Testing and Materials US). (2003a). ASTM D-5865-04 Standard test method for gross calorific value of coal and coke. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. Vol. 4. p. 10-12.
- ASTM D-1762-84 (2013b). Standard test method for chemical analysis of wood charcoal. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Baettig, R., Yáñez, M., & Albornoz, M. (2010). Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: estado del arte. Bosque (Valdivia), 31(2), 89-99.
- Confederación Nacional de Organizaciones de Silvicultores., Consorcio Forestal del Norte de México., Unión Forestal del Estado de Nueva León. (2014). Manual Plantaciones Dendroenergéticas. Consultado en <http://conosil.mx/pdf/manuales/Plantaciones%20Dendroenergéticas.pdf>
- De Paula Protásio, T., Bufalino, L., Tonoli, G. H. D., Couto, A. M., Trugilho, P. F., y Júnior, M. G. (2011). Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira, 31(66), 113.
- Khanal, S., Surampalli, R, Zhang, T., Lamsal, B., Tyagi, R., y Kao, C. (2010). Bioenergy and Biofuel from Biowastes and Biomass. American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Martínez Pérez, R., Pedraza Bucio, F. E., Apolinar Cortes, J., López Miranda, J., y Rutiaga Quiñones, J. G. (2012). Poder calorífico y material inorgánico en la corteza de seis árboles frutales. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 18(3), 375-384.
- Mogliá, J., Giménez, A., y Bravo, S. (2014). Macroscopía de la madera. (2da ed.). Santiago, Chile: E-Book.
- Moya, R., y Ledezma, A. (2003). Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. Madera y Bosques, 9(2), 15-27.
- Moya, R., & Tenorio, C. (2013). Fuelwood characteristics and its relation with extractives and chemical properties of ten fast-growth species in Costa Rica. Biomass and Bioenergy, 56, 14-21.
- Muñoz Sáenz, F. (2009). Introducción y evaluación del cultivo de miscanthus y paulownia como fuente de biomasa lignocelulósica para la generación de energía renovable en la zona centro sur de Chile. Proyecto de Investigación. Universidad de Concepción, Chile.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2008). La contribución de la dendroenergía a la demanda energética futura. Consultado en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0139s/i0139s05.pdf>
- 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.
- Rivera Samaniego, J. (2014). Variación del contenido de humedad y cambio dimensional en diferentes alturas de fuste de Bolaina Blanca (*Guazuma crinita*) en la zona Tingo María. (Tesis de bachiller). Consultado en [http://www.academia.edu/9766041/TESIS\\_JHONY](http://www.academia.edu/9766041/TESIS_JHONY)
- Sixto, H., Hernández, M. J., Ciria, P., Carrasco, J. E., & Cañellas, I. (2010). Manual de cultivo de *Populus* spp. para la producción de biomasa con fines energéticos. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Ciencia e Innovación, Madrid.
- Solís, R. A., González, J. V., Brenes, J. P. S., y Hernández, G. E. (2013). Diseño de un método de análisis espectrofluorométrico, para la determinación de etanol en aire. Uniciencia, 27(1), 215-231.
- Tenorio Monge. (2010). Influencia de los factores que afectan el contenido de humedad en *Acacia mangium* antes y después de secado. Consultado en [http://www.aecidcf.org.uy/index.php/documentos/doc\\_download/491-carolina-tenorio-presentacion-curso](http://www.aecidcf.org.uy/index.php/documentos/doc_download/491-carolina-tenorio-presentacion-curso)
- Zelada Fonseca, C. (2012). Determinación del poder calórico de especies forestales utilizadas como sombra de café en la cuenca alta y media del Río Reventazón. (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica.