

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS DE GRADUACIÓN

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALÓRICO DE ESPECIES
FORESTALES UTILIZADAS COMO SOMBRA DE CAFÉ EN
LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO REVENTAZÓN,
CARTAGO, COSTA RICA.**

CARLOS ZELADA FONSECA

**CARTAGO, COSTA RICA
2012**



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA



ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS DE GRADUACIÓN

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALÓRICO DE ESPECIES
FORESTALES UTILIZADAS COMO SOMBRA DE CAFÉ EN
LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO REVENTAZÓN,
CARTAGO, COSTA RICA.**

CARLOS ZELADA FONSECA

**CARTAGO, COSTA RICA
2012**

Determinación del poder calórico de especies forestales utilizadas como sombra de café en la cuenca alta y media del río Reventazón, Cartago, Costa Rica.

Carlos Zelada Fonseca*

RESUMEN

En el presente estudio determinó el potencial energético de 15 especies forestales utilizadas como sombra de café en la cuenca alta y media del río reventazón.

Las muestras fueron tomadas del fuste principal del árbol a una altura de 1.3 metros y determinado su poder calórico de cada tipo de madera por separado.

Como resultado se obtuvo que los mayores valores los presenta la especie *Cordia alliodora*, tanto para albura como duramen, valores de 20710 kJ/kg y 24634 kJ/kg respectivamente. Los valores menores se obtienen de las especies *Eucaliptus saligna* en albura con 13217 kJ/kg; y *Cupressus lusitánica* en duramen con 12251; sin embargo la especie con menor promedio es *Ficus benjamina* con 15287 kJ/kg.

En cuanto a la comparación del poder calórico de la albura y duramen de las diferentes especies se observa que se forman tres grupos diferentes en la madera de albura; la especie de mayor valor *Cordia alliodora*, un grupo de 13 especies con valores intermedios; y por último *Eucaliptus globulus*. En el duramen se formaron siete diferentes grupos ; el grupo de mayor valor formado solamente por *Cordia alliodora*; posteriormente *Croton niveus*, seguido de *Acnistus arborescens*; luego un grupo de cuatro especies (*Gliricidia sepium*, *Trichilia havanensis*, *Psidium guajava*, *Syzygium malaccense*); otro grupo de seis especies (*Eucaliptus saligna*, *Eucaliptus deglupta*, *Zygia longifolia*, *Ficus benjamina*, *Ficus prinoides*, *Schizolobium parahyba*); por ultimo dos grupos más de una sola especie, *Pinus caribaea* y *Cupressus lusitánica*. Dicho comportamiento fue explicado por el hecho que el manejo intensivo en cuanto a podas y extracción de los árboles en asociación con café repercuten en el desarrollo y madures de la madera y esto se ve reflejado en las similitudes de valores entre albura y duramen en cuanto a su poder calórico.

Palabras clave: Poder calórico, energía, albura, duramen, especies.

Determination of the caloric power of forest species used to provide shade to coffee plantations along the mid and upper basin of the Reventazón river, Cartago, Costa Rica.

Carlos Zelada Fonseca*

ABSTRACT

This study determined the energy potential from 15 forest species used to provide shade to coffee plantations along the middle and upper basin of the Reventazón river.

The samples were taken from the main tree stem at a 1.3 meter height and the caloric power of each type of wood was measured separately.

As a result, it was discovered that the highest values come from *Cordia alliodora*, for both alburnum and duramen, 20710 kJ/kg and 24634 kJ/kg respectively. The lower values are from *Eucaliptus saligna* in alburnum with 13217 kJ/kg; and *Cupressus lusitanica* in duramen with 1225 kJ/kg. However, the species with the lowest average is *Ficus benjamina* with 15287 kJ/kg.

As for the comparison between the caloric power of alburnum and duramen from the different species, it is observed that three different groups are formed regarding wood from alburnum; the species with the highest value, *Cordia alliodora*, a group of 13 species with intermediate values, and lastly *Eucaliptus globulus*. For duramen wood, seven different groups were formed; the group with the highest value with just one member; *Cordia alliodora*, then *Croton niveus* followed by *Acnistus arborescens* and then a group of four species (*Gliricidia sepium*, *Trichilia havanensis*, *Psidium guajava*, *Syzygium malaccense*); another group with six species (*Eucaliptus saligna*, *Eucaliptus deglupta*, *Zygia longifolia*, *Ficus benjamina*, *Ficus prinoides*, *Schizolobium parahyba*). Lastly, two more groups with one species each: *Pinus caribaea* and *Cupressus lusitanica*. Their behavior was explained by the fact that intensive pruning and tree extraction associated with coffee plantations have repercussions in the development and maturity of wood and this is reflected in the similarities of caloric power values between alburnum and duramen.

Key words: caloric power, energy, alburnum, duramen (sapwood, heartwood), species

ACREDITACIÓN

Este Proyecto de Graduación ha sido aceptado por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobado por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

Determinación del poder calórico de especies forestales utilizadas como sombra de café en la cuenca alta y media del río Reventazón, Cartago, Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador

Róger Moya Roque, Phd.
Director de Tesis

Alejandro Meza Montoya, MSc.
Coordinador de Trabajo Final de Graduación

Cynthia Salas Garita, MSc.
ITCR

Carolina Tenorio Monge, Lcda.
ITCR

Carlos Zelada Fonseca
Estudiante

DEDICATORIA

A Dios por todas las bendiciones en mi vida.

*A mis padres María Cristina y Reinaldo por estar siempre a mi lado
y darme su amor y apoyo.*

*A mis hermanos Mauricio y Adrian por ser mi ejemplo y darme su
apoyo.*

*A mi esposa Angita por todo su amor, apoyo y comprensión; y
sobre todo por hacerme parte de su vida.*

AGRADECIMIENTOS

A Róger Moya por su apoyo y ayuda en desarrollo de este trabajo.

A Cynthia Salas y Carolina Monge por su tiempo aportado en la revisión de este documento.

A todo el personal del CIIBI, por el tiempo y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Al Centro de Servicio de Gestión Ambiental y Cuenca / RIOCAT por apoyarme en este proyecto de graduación.

A la escuela de Ingeniería Forestal del ITCR por darme la oportunidad de superarme como profesional.

A mis compañeros de Licenciatura, que Dios los llene de bendiciones y éxitos.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
ABSTRACT	ii
ACREDITACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y METODOS.....	4
Recolección de muestras	4
Preparación de muestras	5
Determinación del poder calórico	6
Determinación del peso específico	7
Análisis estadístico	7
RESULTADOS	9
Cálculos del Poder Calórico	9
Comparación del poder calórico de la albura y duramen de las diferentes especies.....	11
Determinación de correlación entre los valores de poder calórico y peso específico	13
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	15
CONCLUSIONES	18
BIBLIOGRAFÍA	20

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Usos y caracterización de 15 especies forestales Utilizadas como sombra de café (Fuente: Rojas, 2004).	4
Cuadro 2. Poder calórico de 15 especies forestales, detallado en datos para albura, duramen y promedio para cada especie (Fuente: Datos de campo).	9

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las zonas de muestreo de las especies utilizadas en el estudio. (Fuente: Zelada, 2011)	5
Figura 2. Resultados obtenidos de la prueba Tukey para diferencias entre valores de albura y duramen para cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)	10
Figura 3. Resultados obtenidos de la prueba Tukey para valores de albura de cada especie en estudio (Fuente: datos de campo).....	11
Figura 4. Resultados obtenidos de la prueba Tukey para valores de duramen de cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)	12
Figura 5. Resultados obtenidos en el análisis de correlación de Pearson para valores de albura y peso específico de cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)	13
Figura 6. Resultados obtenidos en el análisis de correlación de Pearson para valores de duramen y peso específico de cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)	14

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad energética de las fuentes de energía renovable (hidroeléctrica, eólica, solar, biomasa, etc.) es mayor que las fuentes de energía convencionales (petróleo, gas, carbón, etc.); sin embargo, la utilización de las energías renovables es escasa. El desarrollo de la tecnología, el incremento de la exigencia social y los costos más bajos de instalación y rápida amortización, han impulsado un mayor uso de las fuentes de energía de origen renovable en los últimos años (Guzmán, 2010).

Los combustibles a base de madera representan aproximadamente el 7% del suministro total de energía mundial. En países en vías de desarrollo representa un 15% (FAO, 1999). En el ámbito regional de América Latina la bioenergía ocupa siempre un lugar importante en el balance de producción y consumo energético, dependiendo del uso directo de madera y carbón natural (Hall et al, 1992).

En Costa Rica el uso doméstico de la leña como fuente de energía ha disminuido considerablemente en los últimos años. Actualmente se limita a zonas muy rurales y no es la fuente primordial en los hogares, se maneja más como una segunda alternativa; sin embargo, ha crecido el interés por explorar no solo la leña sino que en general todo lo que representa biomasa (Bonilla, 2011).

En general, en Costa Rica, la leña proviene de las podas de café y árboles asociados a cultivos del mismo café, el cacao, de los potreros y de las podas de cercas vivas. En consecuencia en nuestro país la utilización de la leña no afecta la cobertura vegetal; ésta se puede considerar como un recurso renovable. En nuestros cafetales se pueden obtener 3,1 carretas de leña por manzana y en zonas ganaderas menos de una carreta. O sea, que un agricultor para satisfacer su demanda anual requiere de 2 a 3 Has., de café. (Bonilla, 2011).

Sin duda en la actualidad los árboles ubicados en los cafetales se convierten en una fuente de energía con potencial de aprovechar debido a la importante cantidad de éstos, presentes en los cafetales, que sirven como sombra para este cultivo tan importante para el país (Rojas et al., 2004).

El café a lo largo de la historia ha sido un soporte material de la acumulación interna de capital, estrechamente vinculado con los orígenes de la industria nacional y con el despliegue del mercado interno, es decir, ha sido fuente de financiamiento para el resto de la economía del país y permitió vincular la economía nacional con la internacional. El café ha contribuido al desarrollo socioeconómico de las regiones productoras, así como del transporte, comercio, industria y empleo. Es el producto agrícola que genera empleo y por muchos años el producto agrícola más importante en la economía de Costa Rica (Icafé, 2011).

Específicamente en el Valle Central, se han establecido plantaciones de la variedad *Typica* o criollo de la especie *Arabica*. Este tipo se caracterizaba por su porte alto y una productividad elevada en lo referente a la parte productiva, en tanto que relacionado a la parte de cultivo mismo, estas variedades se cultivaran expuesta total o parcialmente al sol (Icafé, 2011). Así mismo, en la actualidad es importante, además de aplicar tecnologías para lograr alta productividad, tomar la iniciativa formal de desarrollar sistemas de cultivo que aporten un valor adicional a la actividad económica principal, producción de café. Un cafetal arbolado es una inversión que a la postre se convertirá en la posibilidad de amortiguar épocas de crisis cafetalera, mediante la venta de productos forestales (Rojas et al., 2004).

Las alternativas para la incorporación de árboles en cafetales es tan variable como el espacio disponible, el sistema de producción y el objetivo que se desee; cercas rompevientos, follaje, árboles en linderos, sombra, son variantes existentes para el diseño de un cafetal arbolado. De igual forma varía la escogencia de la especie a utilizar; en el caso de que el objetivo complementario sea la producción de combustible, la selección de la especie debe ir adecuada a su comportamiento energético y esto condiciona las características de densidad, poder calórico, entre otras (Rojas et al., 2004).

El objetivo de este trabajo es determinar el potencial energético de especies forestales utilizadas como sombra de café en la cuenca alta y media del río Reventazón y de esta forma suministrar un punto de referencia a dueños de fincas del valor potencial de los árboles de sus propiedades. Como objetivo

secundario el determinar si existe alguna relación entre el peso específico de las especies y sus valores de potencial energético.

MATERIALES Y METODOS

Recolección de muestras

Las especies seleccionadas son frecuentemente utilizadas como sombra para café en la cuenca alta y media del río Reventazón; más específicamente en las comunidades cafetaleras de Cachí, Orosí, Tucurrique, Pejibaye, Juan Viñas y Turrialba. Las especies utilizadas en este trabajo se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Usos y caracterización de 15 especies forestales Utilizadas como sombra de café (Fuente: Rojas, 2004).

Nombre Científico		Nombre Común	Uso Actual	Maderable
<i>Cordia alliodora</i>	C.a.	Laurel	Linderos / Madera	+
<i>Cupressus lusitánica</i>	C.I.	Ciprés	Linderos / Madera	+
<i>Pinus caribaea</i>	P.c.	Pino	Linderos / Madera	+
<i>Eucalyptus deglupta</i>	E.d.	Eucalipto	Linderos / Madera	+
<i>Psidium guajava</i>	P.g.	Guayaba	Cerca / Frutal	-
<i>Syzygium malaccense</i>	S.m.	Manzana de agua	Sombra / Frutal	-
<i>Gliricidia sepium</i>	G.s.	Madero Negro	Cerca / Forraje	-
<i>Croton niveus</i>	Co.l.	Copalchí	Cerca / Forraje	-
<i>Schizolobium parahyba</i>	S.p.	Gallinazo	Linderos	+
<i>Acnistus arborescens</i>	A.a.	Güitite	Cerca / Forraje	-
<i>Ficus prinoides</i>	F.p.	Higuito	Cerca / Forraje	-
<i>Zygia longifolia</i>	Z.l.	Sota Caballo	Linderos	-
<i>Trichilia havanensis</i>	T.h.	Uruca	Sombra	-
<i>Ficus benjamina</i>	F.b.	Laurel de la India	Cerca / Forraje	-
<i>Eucalyptus saligna</i>	E.s.	Eucalipto	Sombra / Madera	+

En el cuadro 1 se detallan las especies estudiadas, su uso más común dentro de los cafetales como elementos de un sistema productivo, además de su potencial uso como madera (+) o de lo contrario su poco o nulo uso como fuente de madera (-).

Para la recolección de las muestras se seleccionaron individuos maduros y sanos. La extracción de la misma se hizo del fuste principal del árbol a una altura de 1.3 metros y fue extraído una galleta de aproximadamente 8 cm de espesor.

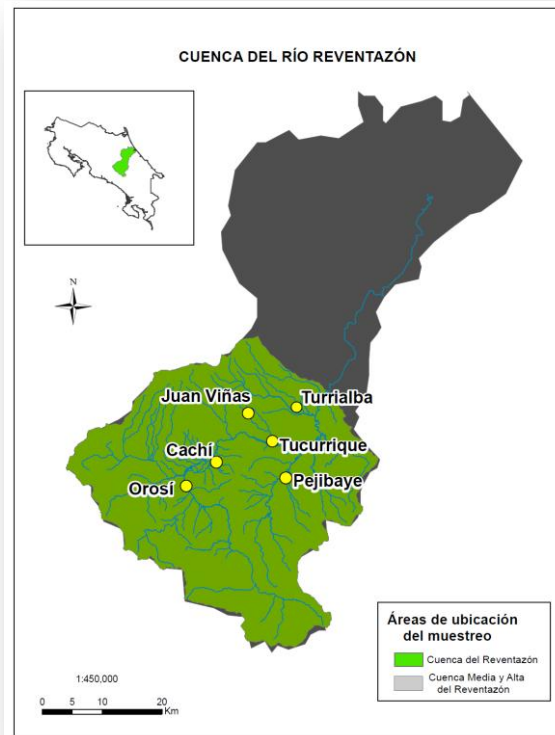


Figura 1. Ubicación de las zonas de muestreo de las especies utilizadas en el estudio. (Fuente: Zelada, 2011)

Preparación de muestras

Cada uno del material recolectado de las especies se separaron en albura y duramen, algunas veces de forma mecánica con la utilización de un formón, otras con sierra cinta. Una vez separado el material se procedió a astillarlo, nuevamente con la utilización de formón; las astillas obtenidas se molieron por medio de un molino. Las muestras de albura y duramen fueron molidas separadamente a un tamaño menor que 0,6 mm. Posteriormente este material fue pasado a través de dos mallas, 0,25 and 0,42 mm (40 to 60 meshes

respectivamente). Fue seleccionada el tamaño de partículas colectadas entre la malla de 40 y 60 mesh hasta obtener aproximadamente 5 gramos de cada tipo de madera. Este material fue utilizado en la determinación de poder calórico (aproximadamente 3 gramos).

Determinación del poder calórico

La energía específica contenida en el material es la cantidad de calor generada por una combustión completa de una masa específica de carbón en presencia de oxígeno. El poder calorífico representa la energía de combustión del carbono e hidrógeno de la materia orgánica y del azufre pirético y en parte del orgánico. En el caso del poder calórico se determinó utilizando la norma ASTM D 5865-04 (ASTM 2003). El primer paso reside en someter las muestras a secado por medio de un horno a 103 °C durante 24 horas, logrando obtener un contenido de humedad del 0%. Posteriormente se someten a una serie de pruebas por medio de una bomba calorimétrica; la cual consiste en un dispositivo utilizado para estimar el poder calorífico de un combustible cuando éste se quema a volumen constante. Se coloca la muestra a analizar y se inyecta la cantidad de oxígeno necesaria para que ocurra la combustión, que inicia mediante ignición por medio de un conductor eléctrico en cortocircuito.

Con el fin de absorber el calor liberado, la bomba se sumerge en una camisa de agua; el sistema debe estar aislado térmicamente con el fin de evitar pérdidas de calor. El calor liberado se mide teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas del agua del calorímetro, la masa del combustible, la masa de la bomba calorimétrica, y después de aplicar algunos factores de corrección. Como punto de comparación de las muestras se utiliza el ácido benzoico (C_6H_5COOH), en una presentación de pastilla de un gramo.

Con los datos obtenidos en la bomba calórica se calcula el potencial energético de cada muestra por medio de la fórmula 1:

$$PE = \left[PCAB * \frac{(Ti-Tf)}{Masa\ muestra} \right] * 4,184 \quad (1)$$

Donde: $PCAB = Poder\ Calórico\ Acido\ Benzoico\ en\ Kcal/kg$

$PE = Potencial\ energético\ kJ/kg$

$Ti = Temperatura\ inicial\ (°C)$

$Tf = Temperatura\ final\ (°C)$

El valor de de 4,184, valor de la constante de pasar de Kcal a KJ

Determinación del peso específico

La determinación del peso específico se realizó con una muestra obtenida de cada uno de los árboles. El valor de peso específico determinado fue la relación entre el peso seco al horno en relación a su volumen en condición seca al horno, el cual es llamado como peso específico seco al horno (ASTM, 2003b). Para esto se procedió a determinar el volumen verde de las muestras tomadas por árbol. Las muestras se secaron al 0% de contenido de humedad a una temperatura de 103°C por 24 horas, luego se determinó su peso con una balanza analítica (0,0001 precisión), después la muestra fue parafinada para posteriormente medir su volumen, introduciendo la muestra en agua para medir el desplazamiento de agua que equivale al volumen de la muestras. El peso específico de la madera se calculó con la fórmula 2:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso seco al horno}}{\text{Volumen seco al horno}} \quad (2)$$

Análisis estadístico

Primero se realizó un análisis descriptivo (media, desviación estándar y coeficiente de variación) para cada especie y tipo en la madera. Para ello fue utilizado el procedimiento UNIVARIATE procedure del programa estadístico SAS 8.1 para Windows (SAS Institute Inc., Cary, N.C.).

Posteriormente se aplicaron diferentes tipos de análisis estadísticos para comparar los resultados. Análisis de varianza (ANOVA) fue aplicado para conocer el efecto de las especies en la variabilidad del poder calórico de la madera. En primera instancia se aplicó la prueba para analizar si existe diferencia entre los valores obtenidos en albura y duramen de cada especie; posteriormente se aplicó para determinar si existe diferencia entre los resultados obtenidos para la albura y el duramen entre las especies. Para determinar la diferencia entre medias de estos parámetros, se aplicó el rango múltiple de Tukey, con un nivel de confianza de 95% y 99%. El modelo establecido es denotando en la fórmula 3:

$$Y_i = \mu + \beta_i * x_i + e_i$$

Donde: Y_i = observación de porcentaje de poder calórico.

μ = media de las observaciones

β_1 = efecto de la especie

e_i = error

Un segundo análisis estadístico aplicado, consistió en un análisis de correlación de Pearson para determinar el grado de correlación entre el peso específico de las especies y sus valores de poder calórico.

RESULTADOS

Cálculos del Poder Calórico

El potencial energético de 15 especies forestales utilizadas como sombra del café en la cuenca alta y media del río Reventazón son presentados en el cuadro 1. Como se puede observar, los mayores valores obtenidos los presenta la especie *Cordia alliodora*, tanto para albura como duramen, valores de 20710 kJ/kg y 24634 kJ/kg, respectivamente; esto se ve reflejado en un mayor valor promedio; 22672 kJ/kg. Los valores menores se obtienen de las especies *Eucalyptus saligna* en albura con 13217 kJ/kg; y *Cupressus lusitánica* en duramen con 12251; sin embargo la especie con menor promedio es *Ficus benjamina* con 15287 kJ/kg.

Cuadro 2. Poder calórico de 15 especies forestales, detallado en datos para albura, duramen y promedio para cada especie (Fuente: Datos de campo).

Nombre Científico	Peso específico (g/cm ³)	Poder Calórico (kJ/kg)		
		Albura	Duramen	Promedio
<i>Cordia alliodora</i>	0.4875	20710	24634	22672
<i>Cupressus lusitánica</i>	0.2799	19768	12251	16009
<i>Pinus caribaea</i>	0.6827	18961	12837	15899
<i>Eucalyptus deglupta</i>	0.6317	18939	17037	17988
<i>Psidium guajava</i>	0.5716	18895	18108	18502
<i>Syzygium malaccense</i>	0.4018	18686	17844	18265
<i>Gliricidia sepium</i>	0.5368	17010	18250	17630
<i>Croton niveus</i>	0.5534	16969	20990	18980
<i>Schizolobium parahyba</i>	0.4563	16828	15278	16053
<i>Acnistus arborescens</i>	0.5037	16662	19438	18050
<i>Ficus prinoides</i>	0.3538	16334	15415	15875
<i>Zygia longifolia</i>	0.4815	15792	17032	16412
<i>Trichilia havanensis</i>	0.7159	14930	18148	16539
<i>Ficus benjamina</i>	0.4721	14101	16473	15287
<i>Eucalyptus saligna</i>	0.3229	13217	17463	15340

En relación de los valores de poder calórico entre albura y duramen de cada especie se encontró que las especies *Cordia alliodora* y *Pinus caribaea* presentan diferencias significativas entre los dos tipos de madera (Figura 2). El resto de las especies no presentan diferencias significativas entre los valores de poder calórico de su albura y su duramen.

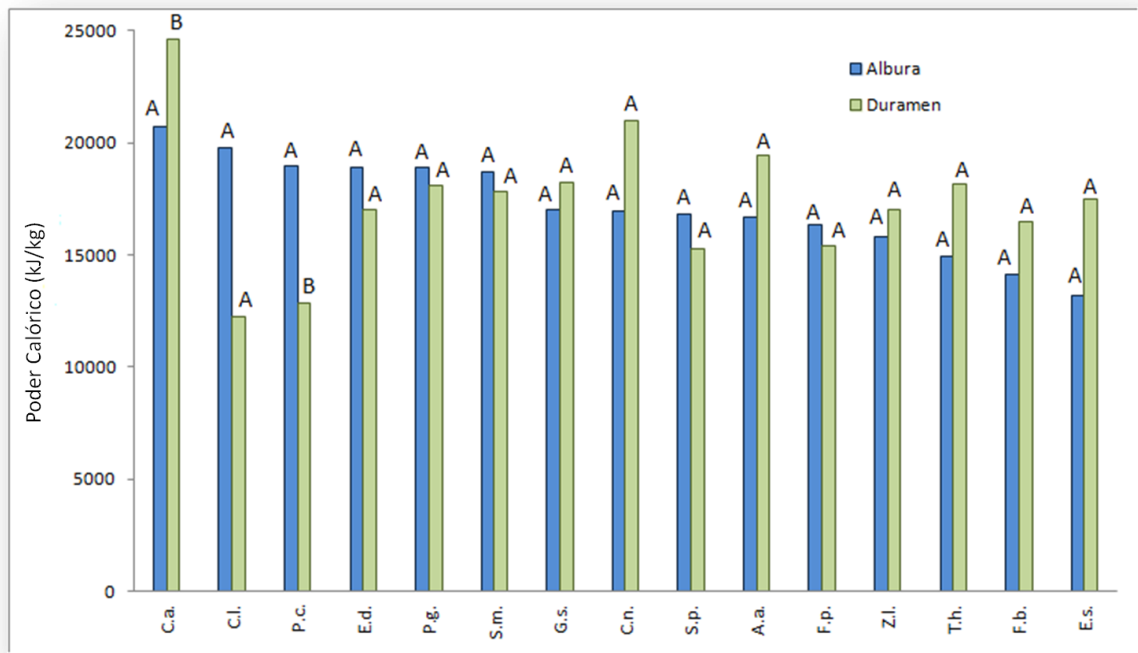


Figura 2. Resultados obtenidos de la prueba Tukey para diferencias entre valores de albura y duramen para cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)

Comparación del poder calórico de la albura y duramen de las diferentes especies.

En relación con las diferencias para un mismo tipo de madera (albura y duramen) en las diferentes especies se encontró que en el caso de la albura las especies de *Cordia alliodora* y *Eucalyptus saligna* presentaron diferencias significativas de poder calórico (Figura 3). En general se observa que se forman tres grupos diferentes en la madera de albura; la especie de mayor valor *Cordia alliodora* (20710 kJ/kg), un grupo de 13 especies con valores intermedios que van desde 19768 hasta 14101 kJ/kg; y por último *Eucalyptus saligna* con el menor valor (13217 kJ/kg) (Figura 3).

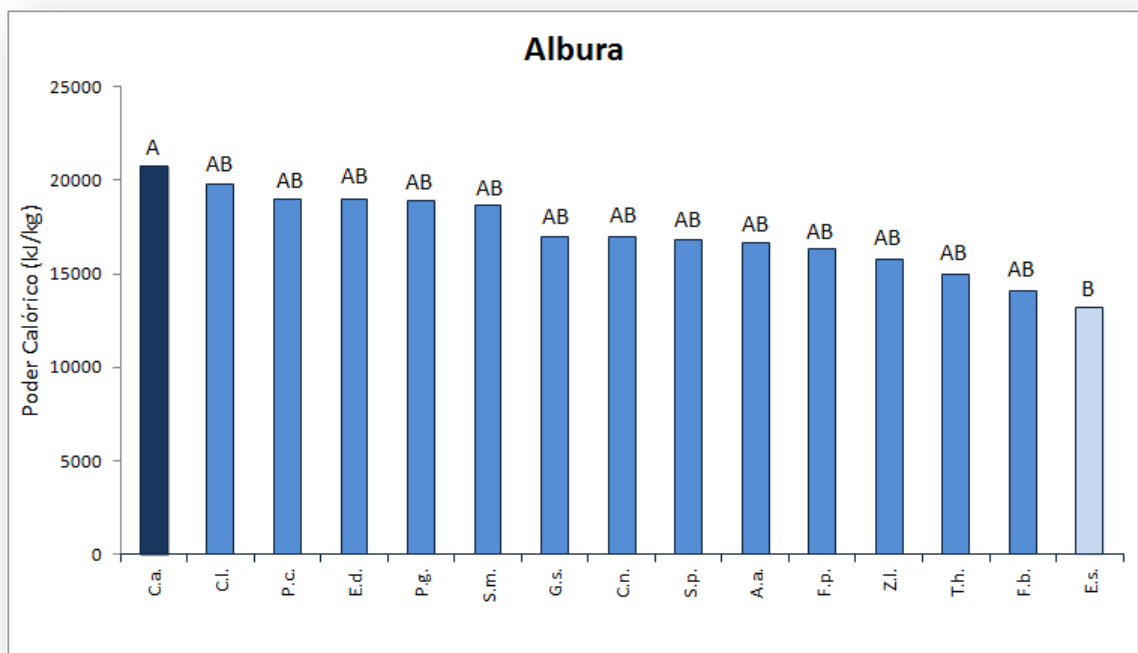


Figura 3. Resultados obtenidos de la prueba Tukey para valores de albura de cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)

Por otro lado, los resultados de poder calórico en la sección del duramen para las diferentes especies (Figura 4), se presentaron resultados diferentes a los obtenidos para la albura (Figura 3). En el duramen se formaron siete diferentes grupos (Figura 4); el grupo de mayor valor formado solamente por *Cordia alliodora* con 24633 kJ/kg; posteriormente *Croton niveus* con 20990 kJ/kg, seguido de *Acnistus arborescens* 19438 kJ/kg; luego un grupo de cuatro especies (*Gliricidia sepium*, *Trichilia havanensis*, *Psidium guajava*, *Syzygium malaccense*) con valores de entre 18249 y 17844 kJ/kg; otro grupo de seis especies (*Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus deglupta*, *Zygia longifolia*, *Ficus benjamina*, *Ficus prinoides*, *Schizolobium parahyba*) con valores entre 17462 y 15278 kJ/kg; por ultimo dos grupos más de una sola especie, *Pinus caribaea* con 12837 kJ/kg y *Cupressus lusitánica* con 12250 kJ/kg.

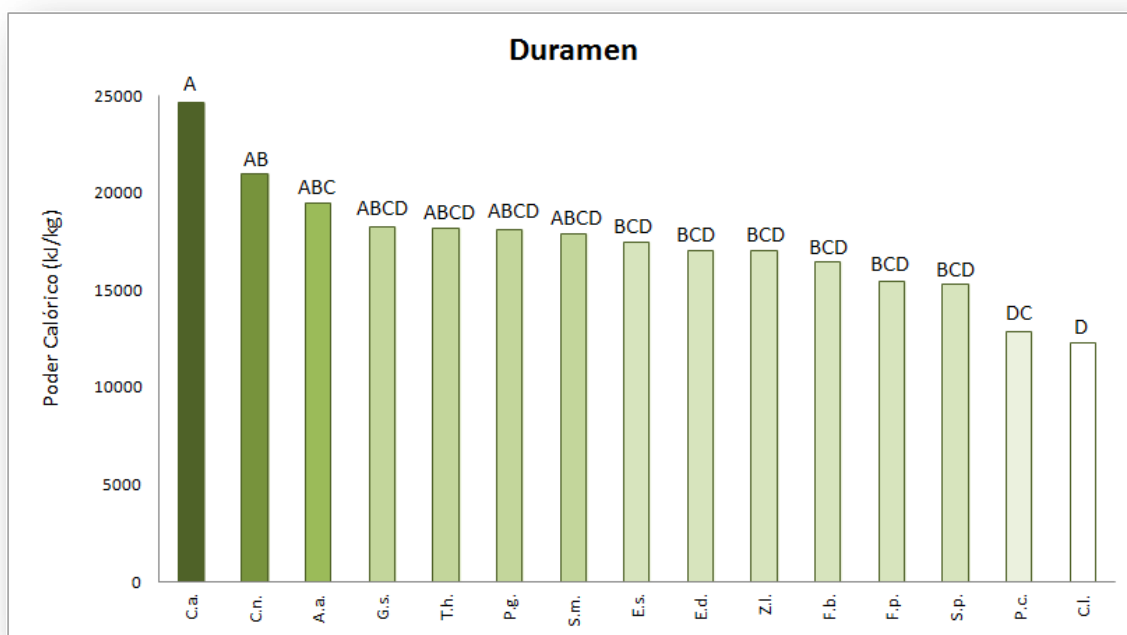


Figura 4. Resultados obtenidos de la prueba Tukey para valores de duramen de cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)

Determinación de correlación entre los valores de poder calórico y peso específico

El análisis de correlación entre los valores de poder calórico de la albura y su peso específico arrojan como resultados una recta de regresión de $y = 1658x + 16363$ con un valor de $R^2 = 0.0095$. Estos resultados y la dispersión de la nube de datos la podemos observar en la figura 5. La relación lineal entre las variables es muy pequeña y no se presentó relación entre el poder calórico y el peso específico de la madera.

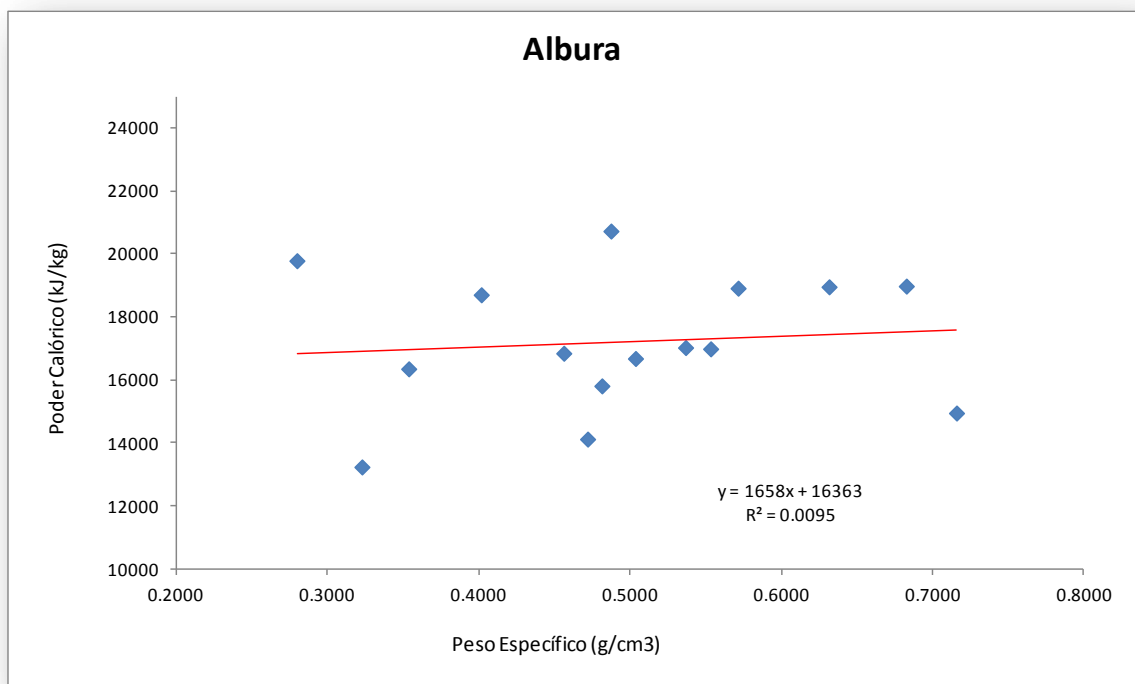


Figura 5. Resultados obtenidos en el análisis de correlación de Pearson para valores de albura y peso específico de cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)

De igual manera el análisis de correlación entre los valores de poder calórico del duramen y su peso específico arrojan como resultados una recta de regresión de $y = 4377x + 15239$ con un valor de $R^2 = 0.029$. Estos resultados y la dispersión de la nube de datos la podemos observar en la figura 6. Nuevamente la relación lineal entre las variables es muy pequeña y de igual forma no se encuentra correlación entre los dos parámetros de la madera.

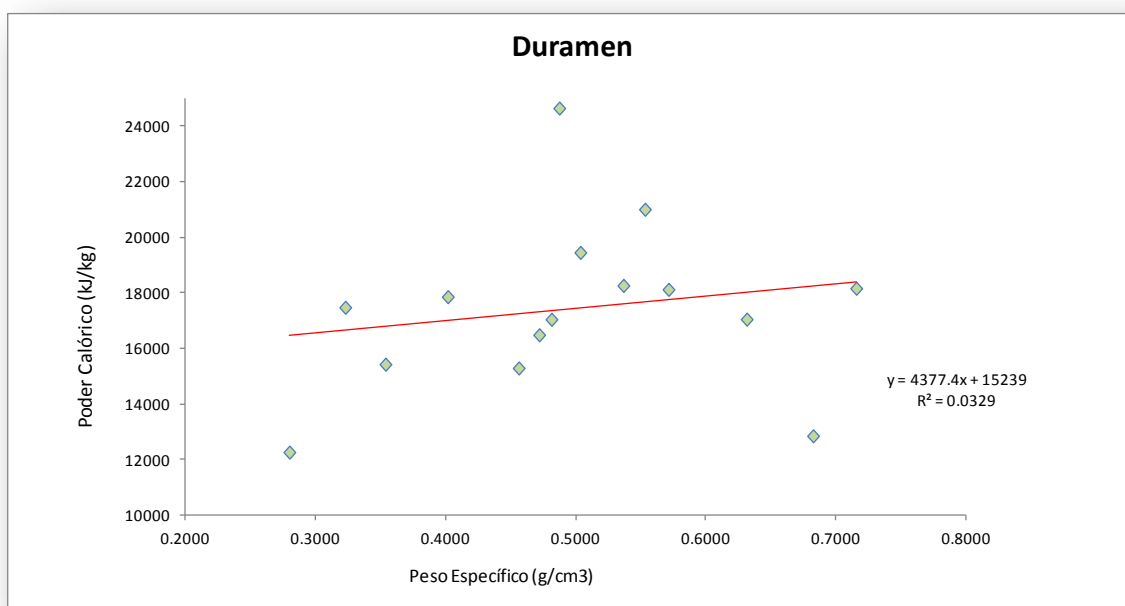


Figura 6. Resultados obtenidos en el análisis de correlación de Pearson para valores de duramen y peso específico de cada especie en estudio (Fuente: datos de campo)

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cordia alliodora es la especie que obtuvo los valores más altos de poder calórico tanto en su promedio, como en albura y duramen; lo que la coloca como una especie importante desde el punto de vista energético. Las especies con los valores más bajos fueron *Eucalyptus saligna*, *Cupressus lusitanica* y *Ficus benjamina*; sobresaliendo esta última por tener el menor promedio, siendo por tanto especies de bajo potencial para fuente de calor. En forma general los valores obtenidos son menores a los reportados por la literatura, por ejemplo para latifoliadas tropicales se reporta un valor promedio de 19 200 kJ/kg; mientras para latifoliadas templadas valores de 19 900 kJ/kg (Saárez, 2008).

La importancia primordial de conocer el poder calórico es identificar un factor de valor agregado en estas especies, que usualmente o en su mayoría son colocadas en sistemas agroforestales, como el café arbolado, primeramente como sombra y fuente de madera; como fuente de energía en un tercer o cuarto orden. Otro aspecto importante es el recomendar con fundamentos claros, cuales son las especies más indicadas para incorporar arboles en cafetales como futuras fuentes de energía, o poder afirmar con certeza la cantidad de potencial energético o poder calórico que está disponible en cierta cantidad de individuos existentes en un sistema de este tipo. Desde ese punto de vista las siguientes especies presentan potencial de aprovechamiento energético por su alto valor de poder calórico: *Cordia alliodora*, *Croton niveus*, *Psidium guajava*, *Syzygium malaccense*, *Acnistus arborescens*.

Muchos propietarios de cafetales utilizan ciertas especies como fuente de leña por tradición, en algún momento se noto el buen rendimiento de cierta especie en cuanto al calor liberado, y este conocimiento pasó a ser popular, por lo que el uso de esta determinada especie se hizo común, siendo quizás esto la razón de que muchas de las especies presentan poder calórico sobre 16000 KJ/Kg. Pero la información que no se tiene a mano es la verdadera diferencia entre una especie y otro, el por qué preferir implementar como sombra el laurel ante el copalchí; esta información se puede deducir de la información resultante del presente trabajo.

Sin embargo para poder implementar las sombras con las especies de mejor poder calórico se debe acompañar con un estudio silvicultural de la especie.

En otro sentido el 87% de las especies estudiadas no presenta diferencias significativas entre los valores de poder calórico de su albura y su duramen; por lo que podemos afirmar que el material es homogéneo en cuanto a su poder calórico al menos en estas especies, lo que se traduce en una ventaja funcional al momento del manejo del material. Esta homogeneidad nos proporciona un material con un comportamiento estable y una fuente de energía constante; nos evita el tener que separar el material y complicar su manejo y funcionalidad. Cuando una especie presenta diferencias entre su madera de albura y duramen, como es el caso de *Cordia alliodora* y *Pinus caribaea*, nos estará proporcionando material con diferentes rendimientos, y al utilizar este como fuente de energía tendremos un comportamiento irregular en el suministro de calor, si se desea corregir debería separarse el material, lo que complicaría su manejo.

En sistemas agroforestales como los cafetales arbolados el manejo de la biomasa presente en estos árboles es muy intensivo y diferenciado, las podas y utilización del follaje hacen que el desarrollo de estos individuos se vea retardado y no sea el referente de una plantación forestal tradicional, esto sumado a edades tempranas (poco desarrollo de los árboles) hacen que la madera juvenil prevalezca y que la madera madura no esté en su completo desarrollo; de esta misma forma algunos componentes químicos y sustancias que se adquieren o prevalecen en la madera adulta aún no se han desarrollado, por lo que la diferenciación entre albura y duramen es mínima o escasa como los encontrados en las especies estudiadas en el presente estudio

Se considera que por esta misma razón los análisis de relación entre el poder calórico y el peso específico resultaron negativos; ya que el mayor peso específico de la madera se alcanza en la madurez del árbol y como se menciono anteriormente esta madures no se alcanza en la mayor parte de las especies.

Al revisar los datos sobre diferenciación del poder calórico de las muestras de albura de las especies estudiadas, se presentan tres grupos diferenciados; en un

extremo se encuentra nuevamente *Cordia alliodora*, luego un grupo de 13 especies: *Acnistus arborescens*, *Croton niveus*, *Cupressus lusitánica*, *Eucalyptus deglupta*, *Ficus benjamina*, *Ficus prinoidea*, *Gliricidia sepium*, *Pinus caribaea*, *Psidium guajava*, *Schizolobium parahyba*, *Syzygium malaccense*, *Trichilia havanensis*, *Zygia longifolia*; y por último en el otro extremo *Eucalyptus saligna*. El principal grupo cuya diferencia entre alburas es no significativa nos permite recomendar un amplio grupo de especies a los productores ya que estos resultados combinados a los mencionados anteriormente sobre diferencias entre albura y duramen, nos muestran un material homogéneo tanto dentro de las especies como entre ellas mismas. Las combinaciones de especies dentro del sistema café arbolado se amplía y no se limita al uso de una única especie o a un número reducida de éstas.

CONCLUSIONES

- La especie *Cordia alliodora* es la que obtuvo los mayores valores de poder calórico; en albura 20710 kJ/kg y duramen 24634 kJ/kg; esto se ve reflejado en un mayor valor promedio; 22672 kJ/kg, convirtiendo a esta especie con alto potencial energético
- Los valores menores se obtienen de las especies *Eucalyptus saligna* en albura con 13217 kJ/kg; y *Cupressus lusitánica* en duramen con 12251; sin embargo, la especie con menor promedio es *Ficus benjamina* con 15287 kJ/kg, Siendo especies de bajo potencial energéticos
- Las especies *Cordia alliodora* y *Pinus caribaea* presentan diferencias significativas entre los valores de poder calórico de su albura y su duramen. Mientras que las especies *Acnistus arborescens*, *Croton niveus*, *Cupressus lusitánica*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus deglupta*, *Ficus benjamina*, *Ficus prinoides*, *Gliricidia sepium*, *Psidium guajava*, *Schizolobium parahyba*, *Syzygium malaccense*, *Trichilia havanensis*, *Zygia longifolia* no presentan diferencias significativas entre los valores de poder calórico de su albura y su duramen.
- La especie *Cordia alliodora* alcanza mayores valores de poder calórico gracias a que el productor permite su desarrollo normal; esto incide en la diferenciación física y química de la albura y el duramen; a la vez al permitir mayor maduración incentiva la producción de agentes químicos que son beneficiosos en la potencialización de su capacidad de producir calor.
- Este manejo que limita el desarrollo de la madera se ve reflejado en la poca incidencia que tiene el peso específico con respecto al poder calórico de las especies estudiadas.

- Conociendo las relaciones que se dan en las especies estudiadas, los productores pueden tomar decisiones mas acertadas sobre cuales especies utilizar en su cafetal, o que esperar de las especies existentes en la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM (American Society for and Materials, USA), 2003b. ASTM D-1442-92, Standard test methods for direct moisture content measurements of wood and wood-Base materials (Reproved 2003)
- Bonilla Durán, A. 2011. Uso de la leña en nuestros campos: madera como combustible. (en línea). Consultado 15 ene. 2012. Disponible en <http://www.micartago.com>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).1999. Editorial Dirección de Información de la FAO. Situación y perspectivas de la conservación y desarrollo de los bosques: situación de los bosques en el mundo. (en línea). Roma, IT. Consultado 25 dic. 2011. Disponible en <http://www.fao.org>
- Guzmán Madrid, P. 2010.Energías renovables: Biomasa. (en línea). Consultado el 18 ene. 2012. Disponible en <http://centros6.pntic.mec.es>
- Hall, D.O., Rosilto Calle, R, and De Groot, P.1993. “Biomass energy - lessons from case studies in developing countries”, Energy Policy, 168p.
- ICAFFE (Instituto del café de Costa Rica).2012. Historia del café en Costa Rica. (en línea). San José, CR. Consultado 18 ene. 2012. Disponible en <http://www.icafe.go.cr>
- Rojas Rodríguez, F.; Canessa Mora, R.; Ramírez Rojas, J. 2004. Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica. Cartago, CR: ICAFFE/ITCR. 151 p.
- Saárez Imbaquingo, C. 2008. Consumo de leña y propuesta de plantaciones energéticas en el área rural del cantón Antonio ante provincia de Imbabura. (en línea). Consultado 18 ene. 2012. Disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec>