

Determinación de los extractivos y su correlación con el peso específico básico de **diez especies utilizadas como sombra en cafetales** de Costa Rica.

Róger Bonilla-Chaves¹
Roger Moya-Roque²

Resumen

En América Central, los cafetales cuentan con árboles frutales y maderables con el fin de diversificar el cultivo y la producción. No obstante, éstas especies poseen poca información de las propiedades que determinan su potencial de uso. El objetivo del presente estudio es cuantificar el porcentaje de extractivos solubles en diferentes solventes, hidróxido de sodio, diclorometano, etanol-tolueno, agua caliente, agua fría. Se determinó la correlación entre los extractivos solubles con el peso específico de la albura y el duramen de 10 especies utilizadas como sombra en cafetales de Costa Rica. Se tomaron dos árboles de cada una de las especies de árboles de sombra en plantaciones de café y se extrajo material de la madera a 1,3 metros de altura. La madera fue molida y determinó la cantidad de extraíbles con los diferentes solventes, según las normas de la Asociación de

Abstract

In Central America, coffee plantations grow together with fruit and timber trees to diversify of crops and to increase of production. However, little is known about the potential of these species. The purpose of this study is to quantify the percentage of soluble extractives in different solvents (sodium hydroxide, dichloromethane, ethanol-toluene, hot water, and cold water) and its correlation with specify gravity of heartwood and sapwood for 10 most used species that provide shade for coffee plantations in Costa Rica. It was taken 3 trees of each species in coffee plantations and extracted cross-section from 1.3 meters of height. The wood was milled and determined the amount of extractable in different solvents, according to norms of American Standards and Testing of Materials (ASTM). In the chemical analysis, the percentages of extractives varied according to the

1. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ing. Forestal; Cartago, Costa Rica; rbonillach@gmail.com

2. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ing. Forestal; Cartago, Costa Rica; rmoya@itcr.ac.cr +(506) 2550 9092

estándares y materiales de América (ASTM). En el análisis químico, los porcentajes de extraíbles encontrados variaron de acuerdo al solvente utilizado; en hidróxido de sodio de 8,5 a 23,21%, en diclorometano de 1,71% a 8,57%, en etanol-tolueno de 0,15% a 8,79%, en agua caliente de 0,99 a 7,01% y en agua fría de 1,07% a 7,98%. En la especie *Croton niveus* el porcentaje de extractivos fue mayor en la albura, en comparación con el duramen. En *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus saligna*, *Pinus caribaea* y *Trichilia havanensis* el duramen presentó mayor porcentaje de extractivos. En el resto de especies, no se presentaron diferencias entre los dos tipos de madera. En forma general se observó que las 10 especies presentan extractivos en la madera entre 1 y 10%. En cuanto a la relación de los extractivos con el peso específico básico se determinó que un aumento del peso específico de la especie s incrementa el contenido de extraíbles en agua fría en la albura y los extractos en agua caliente en el duramen, pero disminuye los extraíbles en diclorometano en el duramen.

Palabras clave: especies tropicales, aprovechamiento, energía, biomasa, albura, duramen.

Introducción

En Costa Rica, el cultivo del café ha sido desde el siglo XIX unos de los pilares de la economía costarricense (Danse, 2002). Actualmente Costa Rica cuenta con poco más de 98000 hectáreas que se dedican a la producción de café, de las cuales el 92% están en manos de pequeños productores (ICAFE, 2010). Esta situación provoca que los productores de café, además de este producto también implementen en sus fincas árboles frutales como musáceas, cítricos, aguacate, etc. y algunos árboles maderables. Esta diversificación se debe en gran medida a que las ganancias de la actividad cafetalera se han reducido drásticamente, lo cual ha motivado, en parte, al interés creciente en la diversificación de cafetales con árboles para reducir costos y aumentar los ingresos por la venta de otros productos como frutas, madera y leña (Muschler, 2000). En el caso de muchos caficultores costarricenses están reemplazando, de manera gradual, la sombra tradicional de árboles leguminosos, los cuales tienen poco o ningún valor comercial, con especies maderables de rápido crecimiento (Tavares et al., 1999). Entre las especies maderables es posible encontrar el laurel (*Cordia alliodora*), eucaliptos (*Eucalyptus sp*), el cedro (*Cedrela odorata*), entre otras, además entre las especies aptas para leña sobresalen las guabas (*Ingas sp*), y las especies frutales como los cítricos (Yépez, 2002; Rojas F., Canessa R., Ramírez J., 2004).

solvent used, namely: in sodium hydroxide varied from 8.5% to 23.21%), in dichloromethane from 1.71% to 8.57%, in ethanol-toluene from 0.15% to 8.79%, in hot water from 0.99% to 7.01% and cold water from 1.07% to 7.98%. *Croton niveus* presented higher extractives in sapwood in comparison with heartwood. In *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus saligna*, *Pinus caribaea* and *Trichilia havanensis*, the highest extractives percentage was measured in heartwood. The rest of the species sampled the percentages extractives were not found differences between sapwood and heartwood. In general, it was observed that species provide normal extractable contents in wood. Regarding to relation of extractives content with specific gravity, was determined that an increase in the specific gravity of the species increases extractives in cold water in sapwood and hot water extracts in heartwood, but decreases extractives in dichloromethane for heartwood.

Key words: tropical species, logging, energy, biomass, sapwood and heartwood.

BUN-CA (2002) menciona que un aporte económico que puede generar la introducción de árboles maderables o frutales a los cafetales, es que estos generan residuos que pueden ser una fuente importante de biomasa que actualmente es poco explotada no solo en Costa Rica, sino también en Centroamérica. Asimismo, se considera que de cada árbol extraído para la producción de madera, solo aproximadamente el 30% se aprovecha comercialmente, el restante 70% representa los residuos del procesamiento (aserrín, ramas, costillas, etc). El mismo autor señala que la leña es una fuente de energía importante, particularmente en zonas rurales donde utilizan la leña para generar el calor requerido para procesos como el secado de productos agrícolas como el café.

Costa Rica, al igual que todos los países del mundo, ha sido parte del uso irracional y la dependencia de las fuentes de energía no renovables (fósiles), su uso continuo es una de las principales fuentes de contaminación en la atmósfera, razón por la cual se ha empezado a tomar conciencia sobre el uso de energías renovables dentro de los cuales figuran los desechos agrícolas para producir energía (Danse, 2002).

En la utilización de los árboles producidos en los cafetales, es importante establecer el poder calórico de la madera que los compone. La madera está compuesta de manera general de holocelulosa, lignina y compuestos

extraíbles, comúnmente llamados como extractivos de la madera. Los extractivos son depósitos residuales de los procesos fisiológicos de las células y los mismos tienden a aumentar considerablemente el calor de la combustión (Kumar R., Pandey K.K., Chandrashekar K., Mohan S., 2010; Lammlom y Savidge, 2003; Thomas y Malczewski, 2007). Los extraíbles, los cuales se tratan de una serie de productos químicos orgánicos e inorgánicos en las células, no son componentes estructurales de la madera. Oscilan entre un 2% y 15% del peso seco de la madera. Como su nombre lo indica, se pueden extraer de la madera con agua caliente, alcohol u otros solventes. Los extraíbles de tipo orgánico contribuyen a darle a la madera propiedades tales como: color, olor, sabor, resistencia a la descomposición, densidad, higroscopicidad (capacidad para absorber el agua) y combustibilidad. Algunos ejemplos de extraíbles son: taninos, aceites, grasas, resinas, ceras, goma y almidón (Sjöström, 2003).

El objetivo del presente estudio fue cuantificar el porcentaje de extractivos solubles en diferentes solventes (etanol-tolueno, diclorometano, agua fría, agua caliente, hidróxido de sodio), y determinar el peso específico en la albura y el duramen de 10 especies maderables y frutales utilizadas como sombra en los cafetales.

Materiales y Métodos

Recolección de las muestras

Las muestras fueron cortadas cercana en la cuenca alta y media del río Reventazón; específicamente en comunidades cafetaleras de Cachí, Orosi, Tucurrique, Pejibaye, Juan Viñas y Turrialba, Costa Rica, dichos sitios se encuentra entre las coordenadas 9° 40' 07" N y 10° 20' 0" N y entre 83° 00' 0" E y 84° 00' 0" E (Figura 1). Se cortaron dos árboles por especie y se tomaron

un disco de madera de cada individuo (Cuadro 1). Cada disco se cortó, de aproximadamente 4 cm de espesor, a 1,3 metros de altura (DAP). Una vez cortadas fueron colocadas en bolsas plásticas para mantener la humedad y se transportaron al laboratorio.

Preparación de las muestras

De cada disco proveniente del campo se separó la albura del duramen con la ayuda de una sierra de cinta marca Beaker TM. Para determinar el peso específico de la madera, se tomaron dos muestras cuadradas de 3 cm. El material de albura y duramen sobrante de los árboles muestreados por especie fueron mezclados y secados a un contenido de humedad de 12% por 4 semanas. Luego, el material de la albura y el duramen fue molido para obtener partículas menores a 0,6 mm. Posteriormente, este material fue tamizado en mallas de 0,25 y 0,42 mm (40 y 60 mesh respectivamente); hasta obtener aproximadamente 35 gramos de albura y 35 gramos de duramen. De este material fueron utilizados, aproximadamente 32 gramos para la determinación de extraíbles en la madera y 2 gramos para determinar el contenido de humedad del material.

Cantidad de extraíbles en diferentes solventes

Para los dos tipos de madera, albura y duramen se determinó la solubilidad de los extractivos bajo los siguientes solventes: (i) agua fría, (ii) agua caliente, (iii) solución etanol-tolueno, en proporciones de 1000 ml de etanol y 427 ml de tolueno, (iv) solución en hidróxido de sodio al 1% y (v) en diclorometano. Por cada prueba de solubilidad de albura y duramen en los 5 tipos de solventes se analizaron 3 muestras de 2 gramos cada una. En el cuadro 2 se resumen las normas ASTM usadas para los ensayos de extractivos. Con cada tipo de solvente utilizado se extraen diferentes tipos de componentes o extractos en la madera. El solvente o la extracción con agua caliente

Cuadro 1. Especies utilizadas en el análisis de extractivos en la madera de 10 especies forestales utilizadas como sombra de café en Costa Rica.

Table 1. Species used in wood extractive analysis of ten tree species used as shade in coffee plantations in Costa Rica.

| Nombre científico | Familia | Nombre común | Edad aproximada (años) | Diámetro altura del pecho (cm) | Diferencia visible entre albura y duramen |
|-----------------------------|---------------|--------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| <i>Cordia alliodora</i> | Boraginaceae | Laurel | 10 | 18,5 | Sí |
| <i>Croton niveus</i> | Euphorbiaceae | Colpachi | 6 | 12,2 | No |
| <i>Cupressus lusitanica</i> | Cupressaceae | Ciprés | 15 | 26,8 | Sí |
| <i>Eucalyptus deglupta</i> | Myrtaceae | Eucalipto | 8 | 27,4 | Sí |
| <i>Eucalyptus saligna</i> | Myrtaceae | Eucalipto | 9 | 22,9 | Sí |
| <i>Ficus benjamina</i> | Moraceae | Laurel de la india | 10 | 22,8 | No |
| <i>Pinus caribaea</i> | Pinaceae | Pino | 12 | 19,4 | Sí |
| <i>Psidium guajava</i> | Myrtaceae | Guayaba | 14 | 16,9 | No |
| <i>Syzygium malaccense</i> | Myrtaceae | Manzana de agua | 7 | 24,9 | No |
| <i>Trichilia havanensis</i> | Meliaceae | Uruca | 8 | 18,7 | No |



Figura 1. Zona de muestreo de los árboles en la cuenca baja y media del Reventazón, Cartago, Costa Rica.

Figure 1. Tree species sampling site in upper and lower Reventazón watershed, Cartago, Costa Rica.

se usó para determinar el contenido de extraíbles de tipo de taninos, gomas, azúcares, colorantes y almidones. El agua fría para determinar los extraíbles de tipo taninos, gomas, azúcares y colorantes. La extracción en agua caliente la muestra se sometió por 4 horas en constante agitación. En tanto que la extracción con agua la muestra de madera se sumergió en agua fría por 4 horas.

La extracción con etanol-tolueno y diclorometano se utilizó para cuantificar la cantidad de ceras, grasas, resinas y algunas gomas. Para estas determinaciones las muestras previamente pesadas se sometieron a reflujo a 60 °C por 4 horas en los solventes. Se volvió a secar y pesar nuevamente la muestra.

La extracción con hidróxido de sodio (NaOH) al 1% se determinó los extractos de tipo gomas y resinas no polares. En este método la muestra se sometió a una solución de hidróxido a temperatura ambiente por un período de 1 hora y en constante agitación. La muestra de aserrín se pesó antes y después de la extracción con el hidróxido.

Determinación del contenido de humedad

Se pesaron 3 muestras en verde y se colocaron a una temperatura de 103 oC en el horno por 24 horas. Se volvieron a pesar y se anotó la diferencia con respecto al peso en seco. La humedad de la madera se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{PV - PS \times 100}{PS}$$

Dónde:

CH = contenido de humedad, PV = Peso verde o peso inicial de la muestra antes de secado, PS = peso final de la muestra después de secado al horno por 24 horas.

Esta determinación, se hizo según la norma ASTM D-1442-92 (ASTM 2003e). Se tomaron 2 gramos de cada muestra para calcular el contenido de extraíbles.

Cálculos de contenido de extraíbles

Para calcular los porcentajes de extraíbles en cada ensayo se consideró el peso de la muestras antes y después de la extracción con el solvente, así como el contenido de humedad que presentaban. Se utilizó la siguiente ecuación de cálculo de porcentaje de extraíbles:

$$\text{Extraíbles (\%)} = \frac{\frac{(PMAE)}{1 + (CH / 100)} - (PMDE) \times 100}{\frac{(PMAE)}{1 + (CH / 100)}}$$

Dónde:

CH = contenido de humedad, PMAE = Peso de muestra antes de extracción, PMDE = Peso de muestra después de extracción.

Determinación del peso específico

Se determinó el peso específico básico de las muestras de 3 x 3 cm de madera sólida por árbol.

El peso específico seco al horno se calculó según la norma ASTM D-2395 (2003f). Se define este término como la relación entre el peso seco al horno, usualmente en gramos, dividido entre el volumen seco al horno,

Cuadro 2. Normas de la Asociación Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) utilizadas para realizar los ensayos de extractivos.

Table 2. American Society for Testing and Materials (ASTM) standards for extractive samplings.

| Norma aplicada | Extractivos | Breve descripción |
|------------------------------|-----------------------------------|--|
| ASTM D-1107 (ASTM, 2013a) | Solubles en etanol-tolueno | Se utilizó en un extractor Soxtec™ 2043 system manufactured by Foss Tecator, bajo las siguientes condiciones: tiempo de extracción 4 horas, temperatura límite 210o C, temperatura del plato 140oC, tiempo de enjuague 1 hora. |
| ASTM D-1108 (ASTM, 2013b) | Solubles en diclorometano | Las muestras se colocan en la solución de diclorometano en un aparato de reflujo por un tiempo de 6 horas. |
| ASTM D-1109 (ASTM, 2013c) | Solubles en hidróxido de sodio | Las muestras se colocan en la solución de NaOH al 1% en baño maría a 100-105 oC por 1 hora, se realizaron agitaciones a los 10, 15 y 25 minutos. |
| ASTM D-1110 (ASTM, 2013d) | Solubles en agua caliente | Las muestras se colocan en baño maría en un aparato de reflujo por 3 horas. |
| ASTM D-1110 (ASTM, 2013d) | Extractivos solubles en agua fría | En erlenmeyer se agregó agua destilada fría y se mantuvo en baño maría a 23 °C por 48 horas, se realizaron agitaciones periódicas. |

generalmente en cm³. Para esto, inicialmente se procedió a determinar el volumen verde de las muestras tomadas por árbol. Las muestras fueron secadas a una temperatura de 103 °C por 24 horas, luego se determinó su peso con una balanza analítica (0,0001 precisión). Posteriormente, cada muestra se sumergió en parafina, se dejó secar. Luego en un recipiente con agua sobre una balanza con una precisión de 0,01 g, se sumergió la muestra en ese recipiente con agua. El aumento del peso de la muestra al introducir la muestra representó el volumen de la muestra en cm³.

El peso específico anhidro de la madera se calculó con la siguiente fórmula:

$$PE_{sh} = \frac{\text{Peso seco al horno (g)}}{\text{Volumen seco al horno}}$$

Dónde:

PE_{sh} = Peso específico seco al horno, P_{sh}= Peso seco al horno, V_{sh} = Volumen seco al horno

Análisis estadístico

Primero se realizó un análisis descriptivo (media, desviación estándar y coeficiente de variación) para cada tipo de porcentaje de extraíbles en la madera. Así mismo se verificó que las respectivas variables cumplieran con las suposiciones de distribución normal, homogeneidad de la varianza y la no presencia de datos extremos o atípicos. 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. Un primer tipo fue el análisis de varianza (ANDEVA) que fue aplicado para conocer el efecto de las especies en la variabilidad de los extraíbles de la madera. Este análisis fue aplicado por separado para los 5 tipos de extracciones que se hicieron en la madera. 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 mostrado en la fórmula siguiente:

$$Y_i = \mu + \beta_1 * X_1 + e_i$$

Dónde:

Y_i = observación de porcentaje de extraíble, μ=media de las observaciones, β₁ = efecto de la especie y e_i = error

Un segundo análisis estadístico aplicado, consistió en un análisis de correlación de Pearson para determinar el grado de correlación entre los diferentes tipos de extraíbles de la madera, así como también, su correlación con el peso específico de la madera secada al horno. Finalmente, fue mostrado por un análisis de regresión en aquellas variables que fueron estadísticamente significantes (p>0,05), entre el contenido de extraíbles y el peso específico.

Resultados

El cuadro 3 presenta los valores promedio y el coeficiente de variación (CV) de las diferentes especies, así como el porcentaje extraído con los diferentes solventes. Se puede observar que la solución de NaOH extrae la mayor cantidad de extractivos en la madera con un promedio general de 14,13%, seguido de la solución en diclorometano con un promedio de 3,98%, luego por los extraíbles en agua fría con 3,89% y en agua caliente con 3,86%, finalmente el solvente que extrajo la menor cantidad de extractivos es la solución de etanol-tolueno con un promedio de 3,19%.

En la extracción con hidróxido de sodio (NaOH), los porcentajes variaron entre 8,50% y 23,21%. Las especies *Psidium guajava* y el *Syzygium malaccense*, tanto en albura como en duramen, fueron las especies que presentaron el mayor porcentaje de extractivos solubles en este compuesto. Por el contrario, la especie de menor porcentaje de extractivos extraídos fue *Eucalyptus deglupta*. Referente a la solubilidad en diclorometano los porcentajes variaron de 1,71% a 8,57%. Otro aspecto importante de destacar en este solvente es que se presenta un menor porcentaje de extracción en la madera de albura que en la madera de duramen en la mayoría de especies. Así mismo el *Cupressus lusitanica* y el *Pinus caribaea* fueron las especies con mayor cantidad de extractivos tanto en albura como en duramen. La madera de albura de *Syzygium malaccense*, presenta el porcentaje más bajo.

Las extracciones con el etanol-tolueno mostraron porcentajes que variaron entre 0,15 y 8,79%, al igual que con el diclorometano, la albura presentó valores más bajos que el duramen. Los valores más bajos se presentaron en la madera de albura y duramen de *Eucalyptus deglupta* y el porcentaje más alto se presentó en duramen de *C. lusitanica*. Los extraíbles con agua caliente fluctuaron entre 0,99 y 7,01%, siendo el porcentaje más bajo en la albura de *E. deglupta* y el valor más alto en la albura de *Croton niveus*. Por último, los extractivos en agua fría mostraron un intervalo entre 0,00% a 7,98%, siendo el valor más bajo para *Cordia alliodora* en la madera de duramen y el valor más alto en la albura de *P. guajava*.

La figura 2 muestra las diferencias en los porcentajes de extraíbles en cada solvente entre la albura y duramen para cada una de las especies. En forma general se observa que, en la mayoría de los casos presentaron los mayores porcentajes de extracción en la madera de duramen y en menor proporción en la albura, pero no en todos los casos se presentaron diferencias significativas (P<0,05).

En la extracción con hidróxido de sodio (Figura 2a), se presentó mayor cantidad de extraíbles en la madera de albura de *Croton niveus*, en tanto que en *Cupressus*

Cuadro 3. Promedios de los extraíbles solubles obtenido en cuatro tipo de solventes de 10 especies forestales utilizadas como sombra de café en Costa Rica.

Table 3. Mean soluble extraction from four types of solvents in 10 tree species used as shade in coffee plantations in Costa Rica.

| Especie | Tipo de madera | Extraíbles | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|------------|-------|---------------|--------|----------------|--------|---------------|-------|-----------|-------|
| | | NaOH | | Diclorometano | | Etanol-tolueno | | Agua caliente | | Agua fría | |
| | | μ | CV% | μ | CV% | μ | CV% | μ | CV% | μ | CV% |
| <i>Cordia alliodora</i> | Albura | 12,37 | 7,87 | 2,32 | 27,51 | 1,90 | 8,02 | 5,08 | 9,26 | 1,38 | 39,42 |
| | Duramen | 11,61 | 3,81 | 8,57 | 165,98 | 2,33 | 4,32 | 2,80 | 24,63 | 0,00 | 0,00 |
| <i>Croton Niveus</i> | Albura | 15,88 | 2,92 | 3,68 | 0,74 | 5,05 | 2,55 | 7,01 | 2,04 | 5,92 | 45,08 |
| | Duramen | 12,75 | 4,56 | 2,76 | 4,12 | 3,48 | 1,88 | 3,01 | 8,82 | 2,39 | 40,47 |
| <i>Cupressus lusitanica</i> | Albura | 9,73 | 4,37 | 4,47 | 1,47 | 2,40 | 5,78 | 4,25 | 9,63 | 1,07 | 44,26 |
| | Duramen | 14,51 | 1,80 | 8,08 | 2,37 | 8,79 | 1,07 | 6,36 | 8,28 | 2,97 | 8,66 |
| <i>Eucalyptus deglupta</i> | Albura | 8,50 | 4,04 | 2,70 | 11,93 | 0,15 | 122,52 | 0,99 | 23,36 | 2,33 | 62,34 |
| | Duramen | 8,94 | 11,78 | 2,94 | 2,71 | 0,55 | 32,32 | 3,29 | 76,72 | 4,33 | 27,05 |
| <i>Eucalyptus saligna</i> | Albura | 9,62 | 0,95 | 2,37 | 13,73 | 2,65 | 6,79 | 1,76 | 81,25 | 3,89 | 10,38 |
| | Duramen | 11,83 | 3,83 | 3,85 | 7,41 | 4,05 | 4,11 | 2,82 | 57,84 | 4,90 | 11,18 |
| <i>Ficus benjamina</i> | Albura | 12,23 | 10,03 | 1,78 | 20,35 | 0,30 | 21,07 | 3,87 | 36,83 | 4,09 | 9,67 |
| | Duramen | 14,77 | 0,43 | 4,15 | 10,84 | 2,44 | 6,87 | 3,66 | 50,34 | 4,30 | 7,52 |
| <i>Pinus caribaea</i> | Albura | 11,73 | 4,53 | 4,45 | 55,37 | 1,88 | 18,17 | 3,30 | 80,93 | 1,23 | 10,32 |
| | Duramen | 16,43 | 6,72 | 7,85 | 2,16 | 7,19 | 3,34 | 3,43 | 19,51 | 4,15 | 7,09 |
| <i>Psidium guajava</i> | Albura | 17,70 | 7,39 | 4,61 | 3,33 | 4,27 | 4,01 | 6,54 | 11,70 | 7,98 | 10,95 |
| | Duramen | 18,02 | 2,91 | 3,13 | 5,16 | 2,68 | 5,24 | 4,57 | 15,89 | 6,91 | 18,77 |
| <i>Syzygium malaccense</i> | Albura | 21,47 | 3,44 | 1,71 | 6,55 | 1,14 | 78,10 | 4,05 | 2,47 | 5,00 | 9,28 |
| | Duramen | 23,21 | 3,73 | 4,16 | 6,75 | 6,10 | 3,87 | 3,37 | 14,09 | 4,82 | 13,85 |
| <i>Trichilia havanensis</i> | Albura | 14,15 | 1,35 | 2,42 | 1,80 | 0,97 | 5,56 | 2,76 | 12,67 | 4,32 | 21,32 |
| | Duramen | 17,25 | 3,28 | 3,67 | 3,03 | 5,48 | 5,66 | 4,36 | 4,96 | 5,75 | 15,22 |
| Promedio | General | 14,13 | | 3,98 | | 3,19 | | 3,86 | | 3,89 | |

Leyenda: μ: promedio y CV= coeficiente de variación.

Legend: μ: mean y CV= coefficient of variation.

lusitanica, *Ficus benjamina*, *Pinus caribaea* y *Trichilia havanensis* el duramen presentó mayor porcentaje de extraíbles. En la extracción con diclorometano, nuevamente la especie *C. niveus*, junto con *Psidium guajava*, presentaron mayor cantidad de extraíbles en la madera de albura, mientras que las otras especies donde se presentó diferencia significativa (*Cordia alliodora*, *C. lusitanica*, *Eucalyptus saligna*, *F. benjamina*, *Syzygium malaccense* y *T. havanensis*) el duramen presentó mayor cantidad de extraíbles (Figura 2b). La extracción con etanol-tolueno el 100% de las especies presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre albura y duramen, pero a excepción de *C. niveus* y *P. guajava*, la madera de albura presentó mayor porcentaje de extraíbles (Figura 2c). En la extracción con agua caliente (Figura 2d) en el 50% de las especies no hubo diferencia estadística entre albura y duramen, siendo mayor el porcentaje en la madera de albura en las especies *C. alliodora*, *C. niveus*, *P. guajava* y en el caso de las especies *C. lusitanica* y *T. havanensis* el duramen presentó mayor cantidad de extraíbles. Finalmente, en los extraíbles en agua fría 3 especies presentaron diferencia entre albura y duramen (Figura 2e).

La especie *C. alliodora* la albura presentó mayor porcentaje de extraíbles, mientras que en *C. lusitanica* y *P. caribaea* el duramen presentó el mayor porcentaje.

Al comparar un mismo tipo de madera en las diferentes especies, se encontró que en hidróxido de sodio (Figura 3a y 3b) la especie *Syzygium malaccense* presentó los mayores porcentajes de extraíbles y *Eucalyptus deglupta* los porcentajes más bajos. En el resto de especies se dieron diferencias entre ellas. La extracción con diclorometano (Figura 3c y 3d), *S. malaccense* y *Ficus benjamina* fueron las especies de menor cantidad de extraíbles y *Pinus caribaea*; *Cupressus lusitanica* y *Psidium guajava* las que dieron mayor cantidad de extraíbles en albura (Figura 3c). En tanto que en el duramen, *Croton niveus*, *E. deglupta* y *P. guajava* mostraron menor cantidad de extraíbles y *P. caribaea*, *C. lusitanica* y *Cordia alliodora* presentaron mayor cantidad de extraíbles (Figura 3d). En el resto de las especies, los extraíbles se concentraron en tres grupos con pocas diferencias estadísticas entre sus porcentajes.

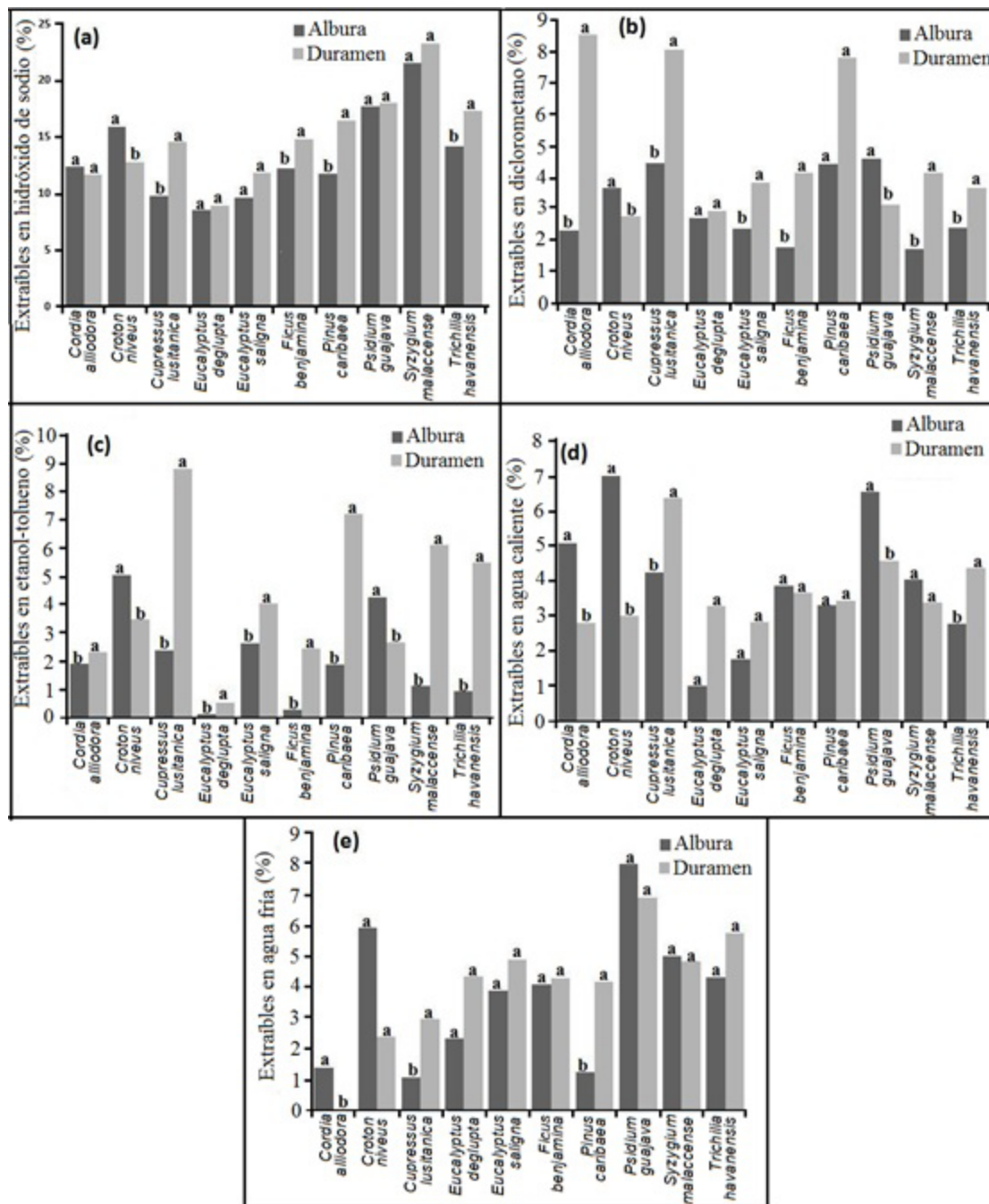


Figura 2. Promedio de extraíbles (a) en hidróxido de sodio, (b) en diclorometano, (c) en etanol-tolueno, (d) agua caliente y (e) en agua fría obtenidos en la madera de albura y duramen para 10 especies forestales utilizadas como sombra de café en Costa Rica.

Leyenda: letras diferentes en albura y duramen en una misma especie son estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95% y letras iguales en albura y duramen en una misma especie no son estadísticamente diferente a un nivel de confianza del 95%.

Figure 2. Mean of extractions in (a) sodium hydroxide, (b) dichloromethane, (c) ethanol-toluene, (d) hot water and cold water from pale sapwood and heartwood for 10 tree species used as shade in coffee plantations in Costa Rica.

Legend: different letters for sapwood and heartwood for the same species are statistically different (95% confidence level), same letters for sapwood and heartwood for the same species are not statistically different (95% confidence level).

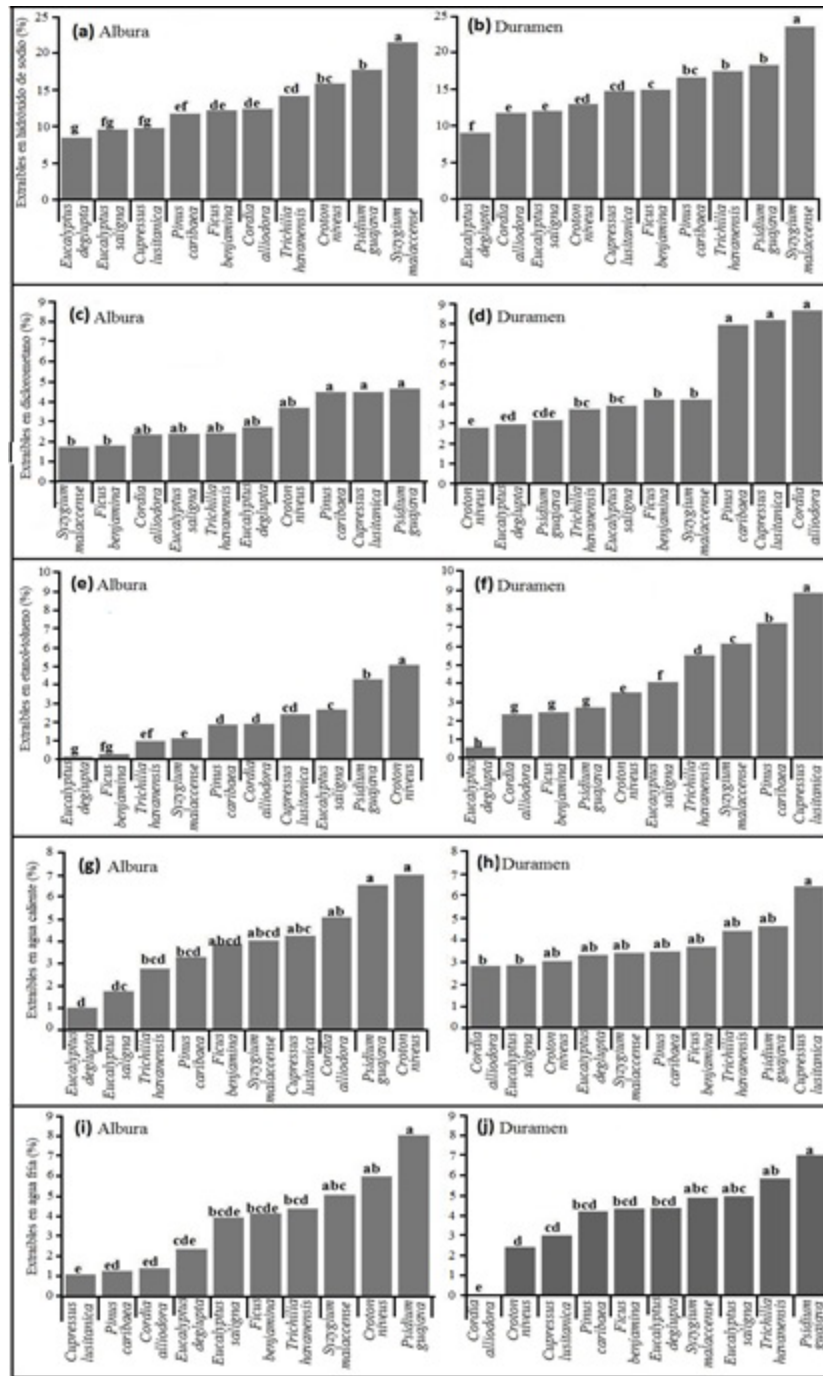


Figura 3. Porcentaje de extractivos de alburá y duramen en diferentes solventes para 10 especies forestales utilizadas como sombra de café en Costa Rica.

Legenda: letras diferentes en alburá y duramen en una misma especie son estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95% y letras iguales en alburá y duramen en una misma especie no son estadísticamente diferente a un nivel de confianza del 95%.

Figure 3. Percentage of extractives from sapwood and heartwood in different solvents for 10 tree species used as shade in coffee plantations in Costa Rica.

Legend: different letters for sapwood and heartwood for the same species are statistically different (95% confidence level), same letters for sapwood and heartwood for the same species are not statistically different (95% confidence level).

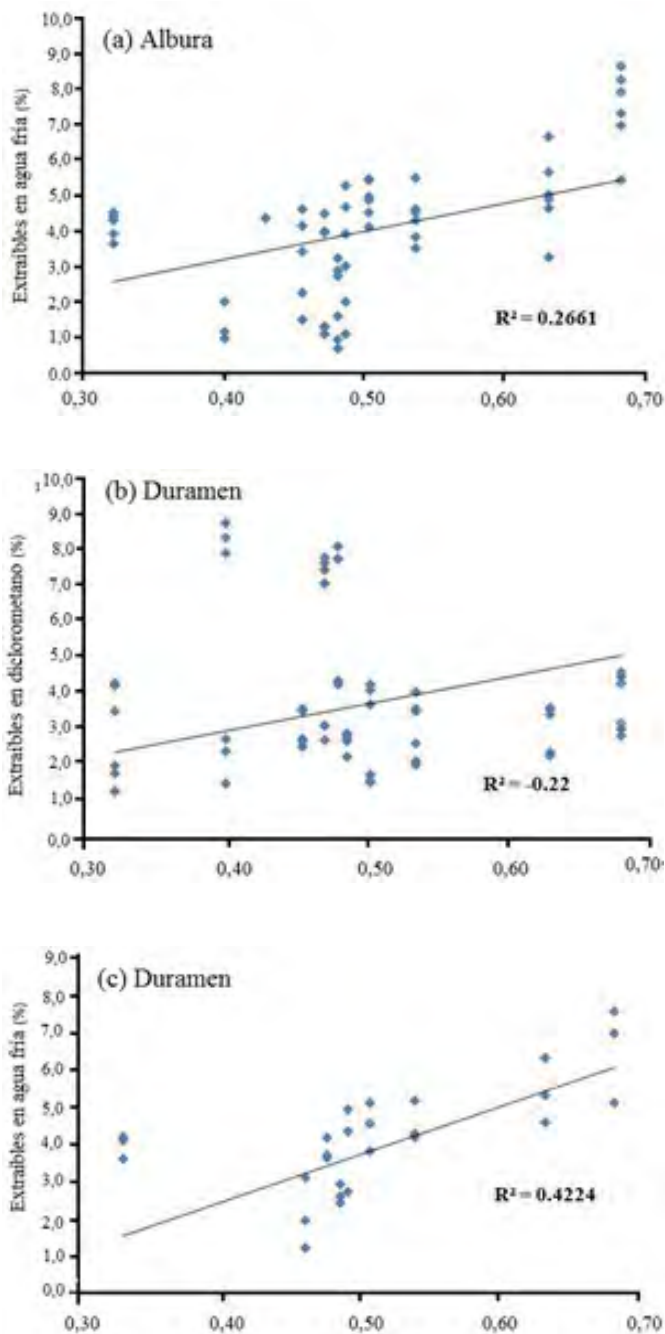


Figura 4. Correlación entre el peso específico básico y los extraíbles en agua fría de albura (a), extraíbles en diclorometano de albura (b) y extraíbles en agua fría de duramen (c) de 10 especies forestales utilizadas como sombra de café en Costa Rica.

Figure 4. Correlation between specific weight and extractives in cold water from sapwood (a), extractives in dichloromethane from sapwood (b), and extractives in cold water from heartwood (c) from 10 tree species used as shade in coffee plantations in Costa Rica.

La extracción con etanol-tolueno fue la que se presentó mayor diferencia entre las especies (Figura 3e y 3f). La especie *E. deglupta* fue la que aportó menor cantidad de extraíbles tanto en albura como en duramen, y *C. niveus* en el caso de la albura (Figura 3e) y *C. lusitanica* en la madera de duramen (Figura 3f) fueron las especies con la mayor cantidad de extraíbles con este solvente. La extracción con agua caliente, *E. deglupta* y *C. alliodora* suministraron menor cantidad de extractivos en albura y duramen respectivamente (Figura 3g y 3h). El *P. guajava* y *C. niveus* en el caso de la albura (Figura 3g) y *C. lusitanica* en el duramen (Figura 3h) fueron las que aportaron mayor cantidad de extraíbles. Otro aspecto de señalar en estos resultados es que en el caso del duramen los datos estadísticos se concentraron en tres grupos de las cuales siete especies no presentaron diferencias estadísticas en las pruebas (Figura 3h). Por último, los extraíbles en agua fría *C. lusitanica* y *P. caribaea* presentaron los menores porcentajes en la madera de albura (Figura 3i) y *C. alliodora* resultó con el menor porcentaje en duramen (Figura 3j). En tanto que *P. guajava* fue la especie con la mayor cantidad de extraíbles en los dos tipos de madera (Figura 3i y 3j).

Correlación entre extraíbles y el peso específico de la madera

Las correlaciones obtenidas entre las extracciones en los diferentes tipos de solventes tanto en la albura como en el duramen de las diferentes especies son presentadas en el Cuadro 4. En ellas se observa que, en aquellas correlaciones estadísticamente significativas ($P < 0,05$) el coeficiente de correlación varió de 0,41 a 0,65 en la madera de albura y de 0,46 a 0,57 en la madera de duramen. En el caso de la albura, los extraíbles en NaOH y en etanol-tolueno fueron correlacionados con los extraíbles en los dos tipos de agua (caliente y fría), extraíbles en diclorometano son correlacionados con los extraíbles en etanol-tolueno y los extraíbles de agua fría fueron correlacionados con los de agua caliente. En tanto que en el caso del duramen, los extraíbles en NaOH y en diclorometano fueron correlacionados con los de etanol-tolueno y finalmente los extraíbles en etanol-tolueno fueron correlacionados con los contenidos en agua caliente.

En el caso de la correlación de los extraíbles en los diferentes tipos de solventes y el peso específico de la madera fue encontrada solamente una débil correlación ($0,05 < P > 0,01$) entre esta propiedad física de la madera y los extraíbles en agua fría de la albura (Cuadro 4) y con los contenidos en diclorometano en el caso de la madera de duramen (Figura 4b). En tanto que se encontró una alta correlación ($P < 0,01$) entre el peso específico y los extraíbles en agua fría de la madera de duramen (Figura 4c). Es importante hacer notar que un aumento del peso específico aumenta el contenido de extraíbles en agua fría en cualquiera tipo de madera (coeficientes de correlación positivo), pero en el caso de la correlación

Cuadro 4. Relación entre contenido de extractivos y el peso específico de la madera y correlación entre los diferentes extractivos en la madera de albura y duramen.

Table 4. Relationship between extractives and wood specific weight, and correlation between different wood extractives from sapwood and heartwood.

| Tipo de madera | Solvente | NaOH | Diclorometano | Etanol-tolueno | Agua caliente | Agua fría | Peso específico |
|----------------|-----------------|----------|---------------|----------------|---------------|-----------|-----------------|
| Duramen | NaOH | ---- | | | | | |
| | Diclorometano | -0,04NS | ---- | | | | |
| | Etanol-tolueno | 0,50** | 0,50** | ---- | | | |
| | Agua caliente | 0,19 NS | 0,15 NS | 0,42* | ---- | | |
| | Agua fría | 0,46 * | -0,57** | 0,04 NS | 0,21 NS | ---- | |
| | Peso específico | 0,34 NS | -0,36* | 0,13 NS | 0,22 NS | 0,65** | ---- |
| Albura | NaOH | ---- | | | | | |
| | Diclorometano | -0,08 NS | ---- | | | | |
| | Etanol-tolueno | 0,29 NS | 0,53** | ---- | | | |
| | Agua caliente | 0,49** | 0,25 NS | 0,64** | ---- | | |
| | Agua fría | 0,65** | 0,02 NS | 0,46* | 0,41* | ---- | |
| | Peso específico | 0,30 NS | 0,30 NS | 0,33 NS | 0,03 NS | 0,47 ** | ---- |

Leyenda: ** estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 99%; * estadísticamente significativo a un nivel de confianza del 95%; NS (no significativo).

Legend: ** statistically significant at 99% confidence level; * statistically significant at 95% confidence level; NS (non significant)

entre el peso específico y los extraíbles en diclorometano en el duramen la correlación fue negativa (Cuadro 4), por lo tanto el aumento del peso específico disminuye los extraíbles en este solvente (Figura 4c).

Discusión

La proporción de extractivos varió de menos de un 1% a más de un 15%, sin embargo, algunos de los extractivos de especies tropicales pueden sumar cerca del 20% (Sjöström, 2003). Aunque los intervalos de extraíbles varían de una especie a otra (inclusive dentro del mismo árbol y misma especie), los datos encontrados concuerdan con los ámbitos reportados para especies tropicales en la literatura.

Moya y Tenorio (2013) en maderas de plantaciones de Costa Rica, encontraron una variación entre 2,23% a 10,02% en agua caliente y de 1,83% a 11,49% en agua fría. Dichos intervalos son más amplios que los calculados en el presente estudio, los cuales variaron entre 0,99 a 7,01% en agua caliente y de 1,00% a 7,98% en agua fría para los diferentes tipos de extraíbles en diferentes solventes. En el caso del NaOH los valores fueron similares entre las especies estudiadas por Moya y Tenorio (2013) y el presente estudio. Finalmente, los porcentajes de extraíbles con diclorometano y etanol-tolueno en el presente estudio los ámbitos también son más amplios que los obtenidos por Moya y Tenorio (2013).

El alto porcentaje de extraíbles obtenidos en NaOH puede ser explicado por el hecho que este solvente es una base

acuosa fuerte, que además de extraer los solventes también provoca degradación de los constituyentes de la madera, por lo que era de esperarse que presentara un mayor porcentaje de extracción en albura y duramen.

Por otra parte, aunque se establece que los porcentajes de extraíbles en la madera de duramen son más altos que los encontrados en la madera de albura, no se presentó esta situación en todas las especies y en los diferentes tipos de solventes utilizados (Cuadro 2). Este comportamiento se observó con el solvente de NaOH; donde por ejemplo, la albura de *C. niveus* presentó más extraíbles que el duramen (Figura 2a). En los solventes de diclorometano, agua caliente y etanol-tolueno también el porcentaje de extraíbles en la albura fue mayor en la duramen en las especies *C. niveus* y *P. guajava* (Figura 2b y 2c).

Si bien en la literatura se indica que el mayor porcentaje de extraíbles se encuentra en el duramen es importante considerar que la cantidad y composición de extractivos depende de la especie, la parte del árbol, la época del año las condiciones de crecimiento, entre otros factores (Demirbas, 2009). Por ejemplo, en las especies que se presentó una mayor cantidad de extractivos en la albura (*C. niveus*, *P. guajava* y *C. alliodora*), a excepción de *C. alliodora*, en los árboles utilizados no había evidencia que hubiera una marcación entre la albura y el duramen, por lo que no podemos afirmar que la parte interna realmente correspondía a duramen las edades de los árboles muestreados.

Además se debe considerar que muchos de los árboles usados como sombra en cafetales los podan

constantemente, otros los cortan y luego manejan los rebrotes, además muchos de los árboles tienen una corta edad y aún no producen duramen siendo en su mayor parte madera juvenil con poco o nada de duramen formado, lo cual puede justificar que con algunos solventes los porcentajes de extraíbles fueron mayor en albura que en el duramen.

Las anteriores explicaciones también pueden respaldar que no se encontraron diferencias en algunas especies entre la albura y el duramen. Por ejemplo, las especies *F. benjamina*, *P. guajaba*, *S. malaccense* y *T. havanensis* no presentaron diferencias entre albura y duramen en la cantidad de extraíbles en todos los diferentes solventes utilizados.

También es importante señalar que, en todos los ensayos realizados el *C. niveus* fue la especie que mayor porcentaje de extraíbles presentó en la albura en comparación con los datos de duramen de la misma especie, y el *C. lusitana*, *E. deglupta*, *E. saligna*, *P. caribaea* y *T. havanensis* fueron las especies que en todos los ensayos dieron un mayor porcentaje de extraíbles en duramen. En el resto de especies los porcentajes variaron de un ensayo a otro.

Es importante considerar que para realizar un aprovechamiento óptimo de la madera desde el punto de vista energético es necesario conocer su composición química. La madera tiene dos formas de composición: elemental y química; en su composición elemental la madera está compuesta en valores aproximados de: 50% de carbono, 43% de oxígeno, 6% de hidrógeno, 0,8% de nitrógeno y 0,2% de sustancias minerales. En su composición química, los compuestos principales son holocelulosa (65-70%), lignina (20-30%) y los compuestos extraíbles (2-15%) (Sjöström, 2003).

De acuerdo a Padilla et al., (2000), el poder calórico se define, como el calor desprendido por la combustión de una unidad de peso de un cuerpo. Igualmente los autores anteriores señalan que el potencial calórico se ve afectado por diversos factores, entre los cuales se puede mencionar, el contenido de humedad, la proporción de cenizas y la composición química.

Las maderas ricas en extractivos y lignina tienen un mayor potencial calórico. La densidad no tiene influencia directa con el poder calórico; sin embargo, al considerar el volumen se ha observado que la madera más densa presenta mayor cantidad de elementos que participan activamente en la combustión, lo cual influye directamente sobre su potencial calórico porque aporta mayor cantidad de calor para un volumen similar, es decir las maderas más pesadas y densas arden por más tiempo (Padilla et al., 2000).

Como se mencionó anteriormente el calor de combustión, depende en parte de la composición

química de la madera, por lo que es importante recordar que con los solventes etanol-tolueno y diclorometano se determinó principalmente el contenido de extractivos de ceras, grasas, resinas y aceites, las cuales son fuentes importantes para iniciar y generar calor (Demirbas, 2009).

De acuerdo a los datos encontrados en las especies analizadas se evidenció que el *Croton niveus*, *Psidium guajava* y el *Pinus caribaea* tienen un alto potencial calórico, es decir son especies idóneas para ser utilizadas como fuente de biomasa para generar calor, ya que se tiene altos valores de poder calórico y sus valores son comparables con los obtenidos a otras especies utilizadas en la producción de energía en Costa Rica (Moya y Tenorio, 2013). Esto no significa que el resto de especies no sean aptas, pero su potencial calórico es menor que las anteriormente mencionadas.

Conclusiones

En el análisis químico los porcentajes de extraíbles encontrados variaron de acuerdo al solvente utilizado. Los extraíbles en hidróxido de sodio variaron de 8,5 a 23,21%, en diclorometano de 1,71% a 8,57%, en etanol-tolueno de 0,15% a 8,79%, en agua caliente de 0,99 a 7,01% y en agua fría de 1,07% a 7,98%.

En *Cupressus lusitana*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus saligna*, *Pinus caribaea* y *Trichilia havanensis* el duramen presentó mayor porcentaje de extractivos en relación con la albura. En el resto de especies, no se presentaron diferencias entre los dos tipos de madera. En cuanto a la relación de los extractivos con el peso específico básico se determinó que un aumento del peso específico de la especie aumenta el contenido de extraíbles en agua fría en la albura y los extractos en agua caliente en el duramen, pero disminuye los extraíbles en diclorometano en el duramen.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el apoyo financiero al Proyecto de Investigación.

Referencias

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). (2013a). D-1107-96 Standard test method for ethanol-toluene solubility of wood. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA, ASTM. 04(10), 2.

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). (2013b). D-1108-96 Standard test method for dichloromethane solubles in wood. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA, ASTM. 04(10), 2.

- ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). (2013c). D-1109-96 Standard test method for 1% sodium hydroxide solubility of wood. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA, ASTM. 04(10), 2.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). (2013d). D-1110-84 Standard test method for water solubility of wood. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA, ASTM. 04(10), 2.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). (2013e). D-1442-07 Standard test methods for direct moisture content measurements of wood and wood-base materials. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA, ASTM. 04(10), 6.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). (2013f). D 2395-07 Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, US, ASTM. 04(10), 9.
- BUN-CA (Oficina Regional para Centroamérica de Biomass Users Network). (2002). Manual sobre energías renovables: Biomasa. Recuperado de <http://www.bunca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf>
- Danse, M. (2002). La caficultura sostenible es más rentable. San José, Costa Rica: CEGESTI. Recuperado de <http://www.una.ac.cr/Ambien-Tico/101/danse.htm>
- Demirbas, A. (2009). Relationships between heating value and lignin, moisture, ash and extractive contents of biomass fuels. *Energy, Exploration & Exploitation*. 20, 105-111.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). (2010). Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Recuperado de http://www.icafe.go.cr/sector_cafetalero/estadsticas/infor_activ_cafetal/Informe%20Actividad%20Cafetalera%202010.pdf
- Kumar, R., Pandey, K.K., Chandrashekar, K., & Mohan, S. (2010). Effect of tree-age on caloric value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid. *Journal of Forestry Research*, 21(4), 514-516.
- Lammlom, S.H., & Savidge, R.A. (2003). A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*, 25, 381-388.
- 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.
- Muschler, R.G. (2000). Árboles en cafetales. Recuperado de http://books.google.co.cr/books?id=Kde9Souw1IMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Padilla, A., Petit, J., Padilla, D., y Quintero, L. (2000). Especies usadas como carburantes en la comunidad de Villanueva, Estado Lara-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 44(1), 11-15.
- Rojas, F., Canessa, R., y Ramírez, J. (2004). Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica. ICAFE- ITCR, Caratago, Costa Rica. 151 p.
- Sjöström, E. (Ed.). (2003). *Wood chemistry, fundamentals and applications* (2da ed.) New York: Academic Press. 293 p.
- Tavares, F., Beer, J., Jimenez, F., Schroth, G., y Fonseca, C. (1999). Experiencia de agricultores de Costa Rica con la introducción de árboles maderables. *Revista Agroforestería En Las Américas*, 6(23), 17-20.
- Thomas, S. C., & Malczewski, G. (2007). Wood carbon content of tree species in eastern china: Interspecific variability and the importance of the volatile fraction. *Journal of Environmental Management*, 85, 659-662.
- Yépez, C. (2002). ¿Cómo diversificar la sombra en cafetales con criterios de selección? *Revista Agroforestería En Las Américas*, 9(35-36), 95-98.