

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS DE GRADUACIÓN**

**Determinación de los extraíbles de algunas de las especies más  
utilizadas como sombra en cafetales de la cuenca media y alta del  
Reventazón, Cartago, Costa Rica.**

**RÓGER BONILLA CHAVES**

**CARTAGO, COSTA RICA**

**2012**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**



**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS DE GRADUACIÓN**

**Determinación de los extraíbles de algunas de las especies más  
utilizadas como sombra en cafetales de la cuenca media y alta del  
Reventazón, Cartago, Costa Rica.**

**ROGER BONILLA CHAVES**

**CARTAGO, COSTA RICA**

**2012**

## **Determinación de los extraíbles de algunas de las especies más utilizadas como sombra en cafetales de la cuenca media y alta del Reventazón, Cartago, Costa Rica.**

**Róger Bonilla Chaves\***

### **RESUMEN**

---

En América Central, los cafetales cuentan con árboles frutales y maderables con el fin de diversificar la producción, no obstante se conoce poco del potencial de estas especies como fuente de energía. 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), y el peso específico en la albura y el duramen de 10 de las especies más utilizadas como sombra en los cafetales de la cuenca media y alta del Reventazón en Cartago, Costa Rica. La determinación de los compuestos químicos de la madera (albura y duramen) se realizó según las normas ASTM. En el análisis químico los porcentajes de extraíbles encontrados variaron de acuerdo al solvente utilizado como se indica: NaOH (8,5-23,21%), diclorometano (1,71-8,57%), etanol-tolueno (0,15-8,79%), agua caliente (0,99-7,01%) y agua fría (1,07-7,98%). De manera general se encontró que en la mayoría de los casos se presentan 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 estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ).

En todos los ensayos realizados el *Croton niveus* fue la especie que mayor porcentaje de extraíbles proporcionó en la albura, en comparación con los datos de duramen de la misma especie, y el *Cupressus lusianica*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus saligna*, *Pinus caribaea* y *Trichilia 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. En forma general se observa que las especies presentan contenidos normales de extractivos en la madera y que por tanto estas especies pueden tener potencial para ser utilizadas como fuentes de energía.

**Palabras clave:** Extractivos, solvente, albura, duramen, especies.

**Determination of extractables from some of the most used species to provide shade for coffee plantations along the middle and upper basin of the *Reventazón* River, Cartago, Costa Rica.**

**ABSTRACT**

---

In Central America, coffee plantations grow together with fruit and timber-yielding trees to diversify production. However, little is known about the potential of these species as energy sources. The purpose of this study is to quantify the percentage of soluble extractables in different solvents (sodium hydroxide, dichloromethane, ethanol-toluene, hot water, and cold water) and the specific weight of heartwood and sapwood (duramen and alburnum) from the 10 most used species that provide shade for coffee plantations in the middle and upper basin of the *Reventazón* river in Cartago, Costa Rica. The determination of chemical compounds in wood (alburnum and duramen) was performed according to ASTM standards. In the chemical analysis, the percentages of extractables found varied according to the solvent used, namely: NaOH (8,5-23,21%), dichloromethane (1,71-8,57%), ethanol-toluene (0,15-8,79%), hot water (0,99-7,01%) and cold water (1,07-7,98%). Generally, it was found that in most cases, the highest percentages of extraction are from heartwood and to a lesser degree from sapwood, but not all of the cases revealed significant statistical differences ( $P < 0,05$ ).

In all tests performed, *Croton niveus* was the species with the highest extractable percentage from sapwood in comparison with the data from the heartwood of the same species. *Cupressus lusitanica*, *Eucaliptus deglupta*, *Eucaliptus saligna*, *Pinus caribaea* and *Trichilia havanensis* were the species that in all tests rendered a higher extractable percentage from the heartwood; for the rest of the species the percentages varied from one test to the other. In general, it was observed that species provide normal extractable contents in wood and therefore, these species have the potential to be used as energy sources.

**Key words:** extractables, solvent, alburnum (sapwood), duramen (heartwood), species

\*Bonilla Chaves, R. 2011. Determinación de los extraíbles de algunas de las especies más utilizadas como sombra en cafetales de la cuenca media y alta del Reventazón, Cartago, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 25p.

# ACREDITACION

---

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 de los extraíbles de algunas de las especies más utilizadas como sombra en cafetales de la cuenca media y alta del 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**

---

**Róger Bonilla Chaves**  
**Estudiante**

## DEDICATORIA

---

*A Dios y a La Virgen de los Ángeles por guiarme y enseñarme  
el camino correcto en las buenas y en las malas.*

*A mis padres María y Guillermo por mostrarme el camino correcto, durante  
todas las etapas de mi vida y por darme toda su sabiduría.*

*A mis hermanos, Guillermo, Lorena, Alejandro,  
Carlos y Sonia, por darme siempre su apoyo.*

*A mi esposa y a mi príncipe Santí,  
gracias por su apoyo y comprensión.*

*A todos mis compañeros de Forestal.*

## **AGRADECIMIENTOS**

---

A Róger Moya "Moyita" por todo el apoyo, conocimiento, amistad y confianza mostrada durante toda mi carrera universitaria.

A Cynthia Salas y a Carolina Monge por su tiempo brindado para la revisión de este documento.

A todo el personal del CIIBI, por todo el tiempo compartido durante el trabajo de laboratorio.

A Carlos y a Maybell por su apoyo con los ensayos de laboratorio

A don Rodrigo, Chema, Robert por su apoyo y amistad.

A grupo OMAJA por darme el tiempo necesario para poder concluir la licenciatura, en especial a mi "paciero" y jefe Omar Jiménez.

A todos los compañeros forestales que iniciamos con esta nueva etapa profesional.

# ÍNDICE GENERAL

---

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
ACREDITACION .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
MATERIALES Y MÉTODOS .....	3
Recolección de las muestras .....	3
Preparación de las muestras.....	4
Análisis químico de extraíbles.....	4
Determinación del contenido de humedad.....	6
Cálculos de contenido de extraíbles.....	6
Determinación del peso específico .....	7
Análisis estadístico .....	7
RESULTADOS .....	9
Correlación entre extraíbles y el peso específico de la madera .....	15
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	18
CONCLUSIONES .....	22
BIBLIOGRAFÍA .....	23

## ÍNDICE DE CUADROS

---

<b>Cuadro 1</b> .Nombre científico, familia y nombre común de las especies analizadas en el análisis térmico. ....	4
<b>Cuadro 2</b> . Normas ASTM utilizadas para realizar los ensayos de laboratorio.....	5
<b>Cuadro 3</b> . Promedios de los extraíbles solubles obtenidos en cada especie por medio de los ensayos realizados.....	10
<b>Cuadro 4</b> . Relación entre contenido de extractivos y el peso específico de la madera y correlación entre los diferentes extractivos (diagonal superior para albura y diagonal inferior para duramen) .....	15

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Ubicación de las zonas de muestreo de las especies utilizadas en el estudio.....	3
<b>Figura 2.</b> Promedio de extraíbles obtenidos en cada especie (albura-duramen), mediante la aplicación de diferentes ensayos. ....	12
<b>Figura 3.</b> Relación obtenida en los ensayos para cada una de las especies analizadas en albura y duramen. ....	14
<b>Figura 4.</b> Correlación entre el peso específico y los extraíbles. ....	17

## INTRODUCCIÓN

---

En Costa Rica, el cultivo del café ha sido desde el siglo XIX uno 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, 2011).

En América Central, un gran porcentaje de la producción de café proviene de cafetales en manos de campesinos, en los cuales no solo se produce café, sino también frutales (musáceas, cítricos, aguacate, etc) y 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 (Galloway y Beer, 1997, citado por Tavares F, *et al* 1999). Entre las especies maderables es posible encontrar el laurel (*Cordia alliodora*), eucaliptos (*Eucaliptus 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 *et al.*, 2004).

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).

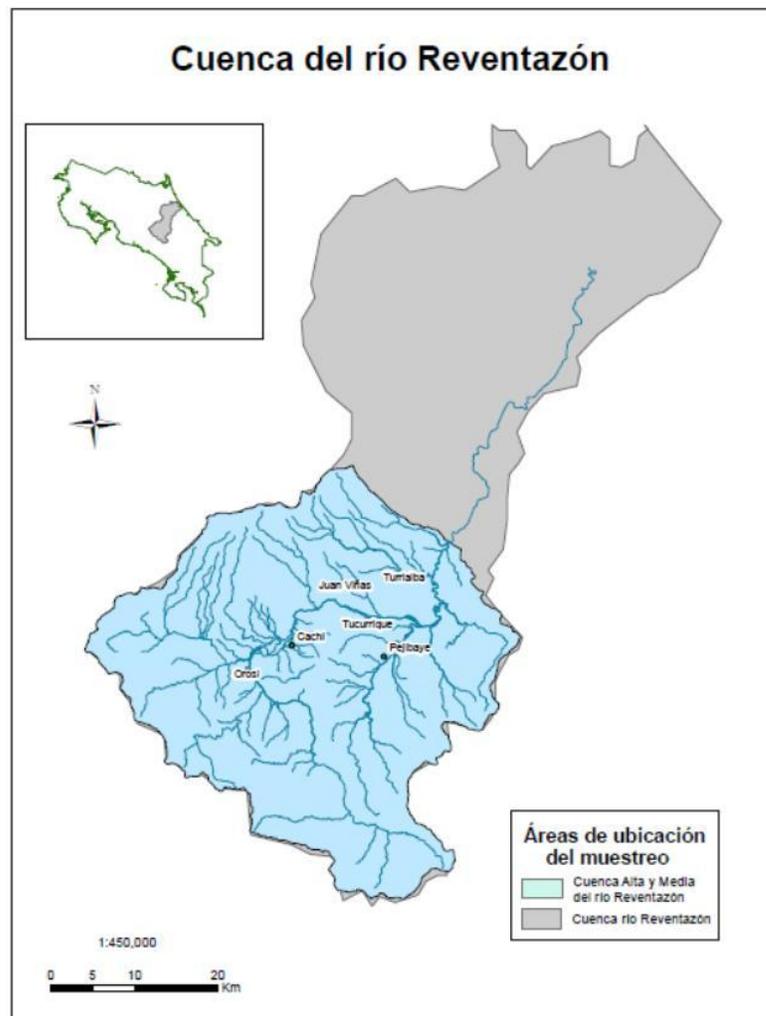
En la utilización de los árboles producidos en los cafetales, es importante establecer el poder calórico de la madera que los compone. La madera está compuesta de manera general de holocelulosa, lignina y compuestos extraíbles, comúnmente llamados como extractivos de la madera. Los extractivos son depósitos residuales de los procesos fisiológicos de las células y los mismos tienden a aumentar considerablemente el calor de la combustión (Kumar *et al* 2010, Lamlom and Savidge 2003, Thomas and 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 (CONAFOR, 2010).

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 el peso específico en la albura y el duramen de algunas de las especies más utilizadas como sombra en los cafetales de la cuenca media y alta del Reventazón en Cartago, Costa Rica.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## Recolección de las muestras

Para realizar este trabajo se colectaron muestras de cada uno de los árboles indicados en el cuadro 1, en las zonas cercanas a la cuenca alta y media del río Reventazón; más específicamente en comunidades cafetaleras de Cachí, Orosi, Tucurrique, Pejibaye, Juan Viñas y Turrialba.



**Figura 1.** Ubicación de las zonas de muestreo de las especies utilizadas en el estudio.

**Cuadro 1** .Nombre científico, familia y nombre común de las especies analizadas en el análisis térmico.

Nombre científico	Familia	Nombre común	Diferencia visible entre albura y duramen
<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	Laurel	Sí
<i>Croton niveus</i>	Euphorbiaceae	Colpachi	No
<i>Cupressus lusitánica</i>	Cupressaceae	Ciprés	Sí
<i>Eucalyptus deglupta</i>	Myrtaceae	Eucalipto	Sí
<i>Eucalyptus saligna</i>	Myrtaceae	Eucalipto	Sí
<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	Laurel de la india	No
<i>Pinus caribaea</i>	Pinaceae	Pino	Sí
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Guayaba	No
<i>Syzygium malaccense</i>	Myrtaceae	Manzana de agua	No
<i>Trichilia havanensis</i>	Meliaceae	Uruca	No

### Preparación de las muestras

De cada uno de los árboles muestreados, se tomó una parte de albura y duramen y se molieron separadamente a un tamaño menor que 0,6 mm. Posteriormente este material fue pasado a través de dos mallas, 0,25 y 0,42 mm (40 a 60 meshes respectivamente). Fue seleccionado el tamaño de partículas colectadas entre la malla de 40 y 60 hasta obtener aproximadamente 35 gramos para la albura y otros 35 gramos para el duramen. Este material fue utilizado en la determinación de extraíbles en la madera (aproximadamente 32 gramos) y en la determinación del contenido de humedad del material (aproximadamente 2 gramos).

### Análisis químico de extraíbles

La determinación de la solubilidad de los extractivos se realizó para los dos tipos de madera por separado (albura y duramen) en los siguientes compuestos químicos: (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. Para cada tipo de solubilidad de extractivos se analizaron 3 muestras de aproximadamente 2 gramos para cada tipo de madera (2 tipos de madera x 5 tipos de compuestos químicos x 3 repeticiones). En el cuadro 2 se indican las normas empleadas en cada uno de los ensayos realizados.

**Cuadro 2.** Normas ASTM utilizadas para realizar los ensayos de laboratorio.

<b>Norma aplicada</b>	<b>Extractivos</b>	<b>Breve descripción</b>
<b>ASTM D-1107</b>	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 210°C, temperatura del plato 140°C, tiempo de enjuague 1 hora.
<b>ASTM D- 1108</b>	Solubles en diclorometano	Las muestras se colocan en la solución de diclorometano en un aparato de reflujo por un tiempo de 6 horas.
<b>ASTM D-1109</b>	Solubles en hidróxido de sodio	Las muestras se colocan en la solución de NaOH al 1% en baño maría a 100-105 °C por 1 hora, se realizaron agitaciones a los 10, 15 y 25 minutos.
<b>ASTM D-1110</b>	Solubles en agua caliente	Las muestras se colocan en baño maría en un aparato de reflujo por 3 horas.
<b>ASTM D-1110</b>	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.

Las extracciones en agua caliente determinan el contenido de extractivos en la madera de taninos, gomas, azúcares, colorantes y almidones, en tanto que los extractivos de la madera extraídos con agua fría son en general: taninos, gomas, azúcares y colorantes. Con el etanol-tolueno se determina el contenido en la madera de ceras, grasas, resinas y algunas gomas. La extracción en hidróxido de sodio (NaOH) al 1% se solubilizan las gomas y algo de resinas, además los álcalis calientes extraen carbohidratos de bajo peso molecular que consisten principalmente en celulosa y hemicelulosa degradada en el material. Finalmente en la extracción con diclorometano se determina el contenido en la madera de ceras, grasas, resinas, aceites y otros materiales similares.

## Determinación del contenido de humedad

La determinación de la humedad en la madera se realiza con el fin de eliminar el peso del agua en la muestra y de realizar los cálculos de los diferentes tipos de extraíbles en la misma. Esta determinación, fue realizada utilizando la norma ASTM D-1442-92 (ASTM, 2003a), para la cual fueron tomados aproximadamente 2 gramos de cada muestra, se pesaron y luego se colocaron a una temperatura de 103°C en el horno por 24 horas para finalmente pesar de nuevo la muestra. La humedad de la madera fue calculada utilizando la siguiente fórmula:

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

## 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, así como el contenido de humedad que presentaban las muestras. La ecuación 2 describe la fórmula matemática utilizada.

$$\text{Extraíbles (\%)} = \frac{\frac{(\text{Peso de muestra antes de extracción})}{1 + (CH/100)} - (\text{Peso de muestra después de la extracción}) * 100}{\frac{(\text{Peso de muestra antes de extracción})}{1 + (CH/100)}} \quad (2)$$

Donde

CH = contenido de humedad

### **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 fueron secadas 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 siguiente fórmula:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso seco al horno (g)}}{\text{Volumen seco al horno}} \quad (3)$$

### **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 dichas variables cumplieran con las suposiciones de distribución normal, homogeneidad de la varianza y la no presencia de datos extremos. 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 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 4:

$$Y_i = \mu + \beta_1 * X_1 + e_i \quad (4)$$

Donde:  $Y_i$  = observación de porcentaje de extraíble,  $\mu$ =media de las observaciones  $\beta_1$ = 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 su correlación con el peso específico de la madera seca 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. En este 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 8,5 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*. En lo 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* son 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% y 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 en agua caliente los valores 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 rango de 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*.

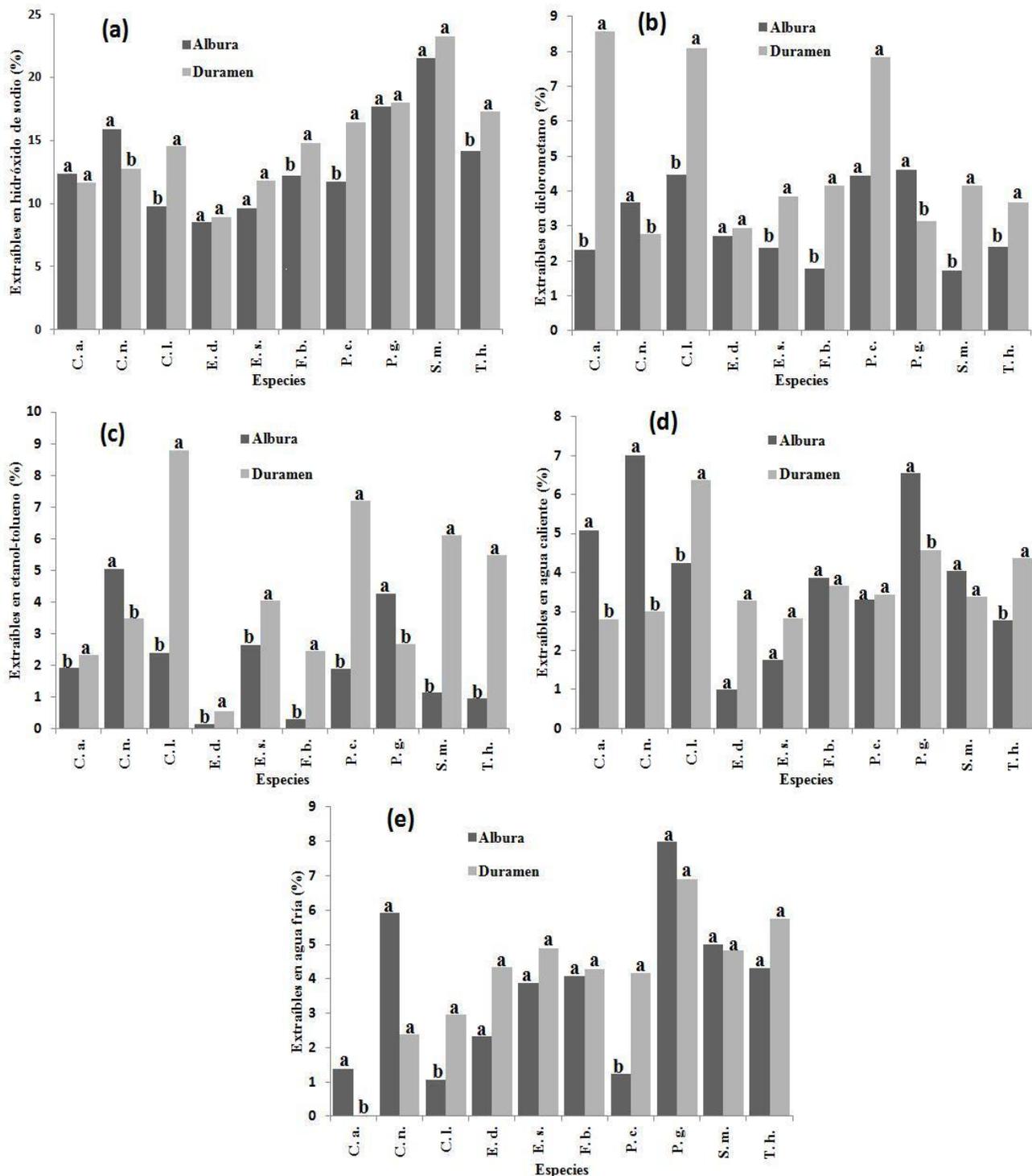
**Cuadro 3.** Promedios de los extraíbles solubles obtenidos en cada especie por medio de los ensayos realizados.

Especie	Parte	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
<b>Promedio General</b>		<b>14,13</b>		<b>3,98</b>		<b>3,19</b>		<b>3,86</b>		<b>3,89</b>	

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

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 se presentan 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 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 hay 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.



**Figura 2.** Promedio de extraíbles obtenidos en cada especie (albura-duramen), mediante la aplicación de diferentes ensayos.

Leyenda: C.a. (*Cordia alliodora*), C.n. (*Croton niveus*), C.l. (*Cupressus lusitanica*), E.d. (*Eucalyptus deglupta*), E.s. (*Eucalyptus saligna*), F.b. (*Ficus benjamina*), P.c. (*Pinus caribaea*), P.g. (*Psidium guajava*), S.m. (*Syzygium malaccense*), T.h. (*Trichilia havanensis*).

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* fue en las que se midió 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. 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 en 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).

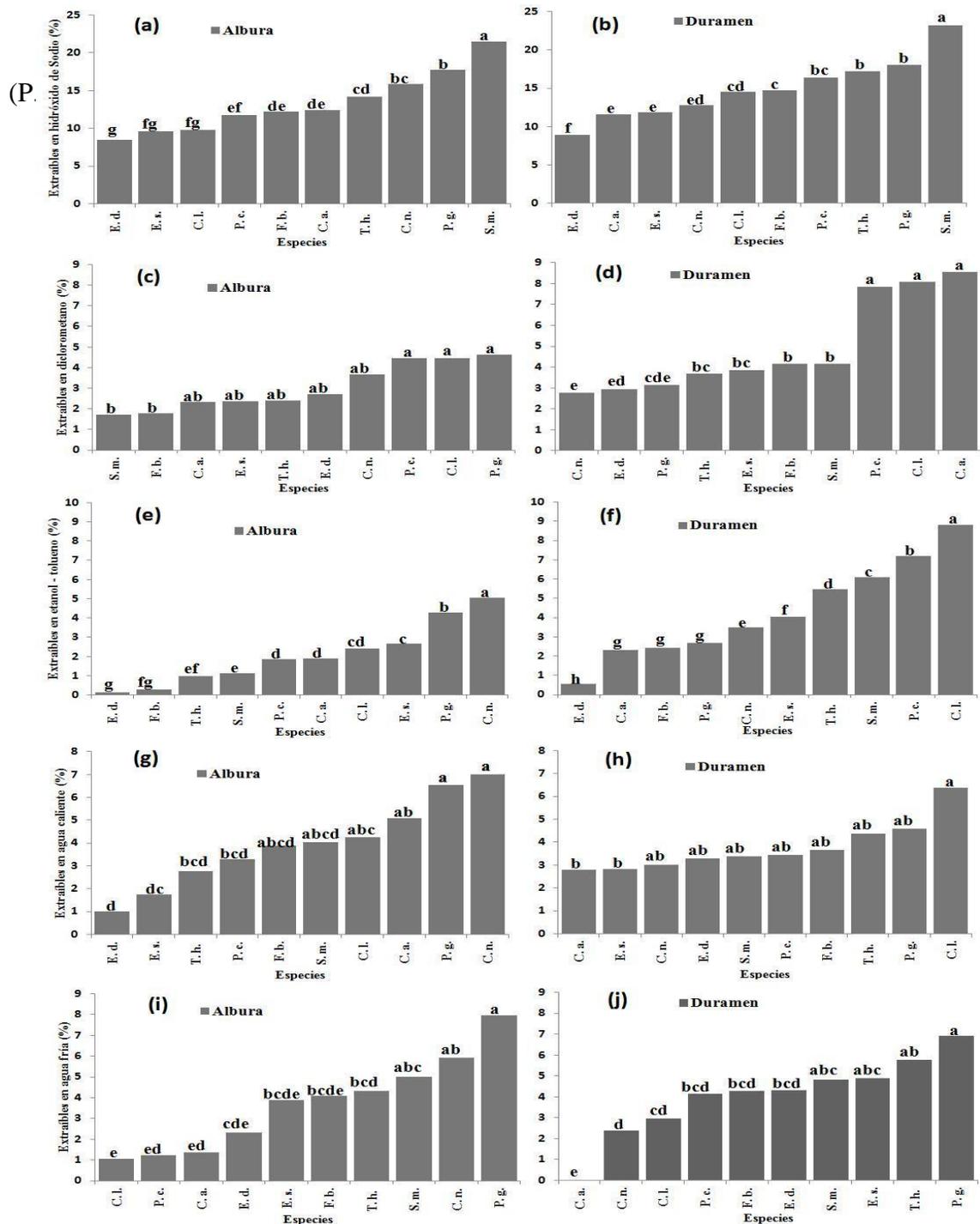


Figura 3. Relación obtenida en los ensayos para cada una de las especies analizadas en albura y duramen.

Leyenda: C.a. (*Cordia alliodora*), C.n. (*Croton niveus*), C.l. (*Cupressus lusitanica*), E.d. (*Eucalyptus deglupta*), E.s. (*Eucalyptus saligna*), F.b. (*Ficus benjamina*), P.c. (*Pinus caribaea*), P.g. (*Psidium guajava*), S.m. (*Syzygium malaccense*), T.h. (*Trichilia havanensis*).

### Correlación entre extraíbles y el peso específico de la madera

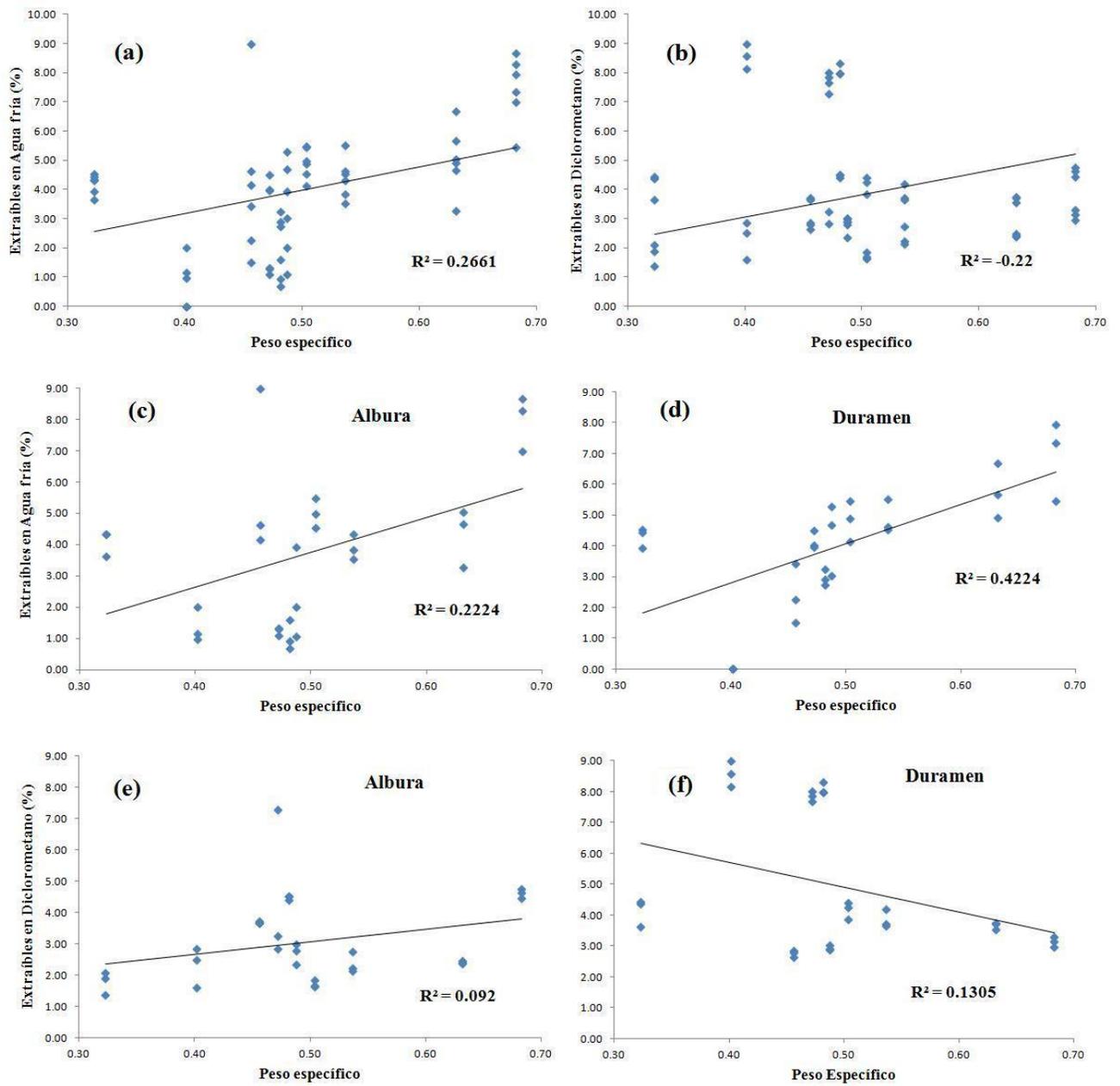
Las correlaciones obtenidas entre las extracciones en los diferentes tipos de solventes tanto en la albura (de la diagonal hacia arriba) como en el duramen (de diagonal hacia abajo) de las diferentes especies son presentadas en el Cuadro 4. En ellas se observa que en aquellas correlaciones estadísticamente 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.

**Cuadro 4.** Relación entre contenido de extractivos y el peso específico de la madera y correlación entre los diferentes extractivos (diagonal superior para albura y diagonal inferior para duramen)

	NaOH	Diclorometano	Etanol-tolueno	Agua caliente	Agua fría	Peso específico
NaOH	----	-0.08 <sup>NS</sup>	0.29 <sup>NS</sup>	0.49**	0.65**	0.30 <sup>NS</sup>
Diclorometano	-0.04 <sup>NS</sup>	----	0.53**	0.25 <sup>NS</sup>	0.02 <sup>NS</sup>	0.30 <sup>NS</sup>
Etanol-tolueno	0.50**	0.50**	----	0.64**	0.46*	0.33 <sup>NS</sup>
Agua caliente	0.19 <sup>NS</sup>	0.15 <sup>NS</sup>	0.42*	----	0.41*	0.03 <sup>NS</sup>
Agua fría	0.46*	-0.57**	0.04 <sup>NS</sup>	0.21 <sup>NS</sup>	----	0.47**
Peso específico	0.34 <sup>NS</sup>	-0.36*	0.13 <sup>NS</sup>	0.22 <sup>NS</sup>	0.65**	----

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

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. 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) (Figura 4a y 4e), pero en el caso de la correlación 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 4f).



**Figura 4.** Correlación entre el peso específico y los extraíbles.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

La proporción de extractivos varía de menos de un 1% a más de un 15%, sin embargo, algunos de los extractivos de especies tropicales pueden sumar cerca del 20% (Tsoumis, 1982 citado por Fonseca 2006). Aunque los rangos de extracción varían de una especie a otra (inclusive dentro del mismo árbol y misma especie) los datos encontrados concuerdan los rangos reportados para especies tropicales en la literatura. Por ejemplo Moya *et al.* (2010) en maderas de Costa Rica, pero creciendo en plantaciones puras reporta un rangos de variación de 2,23 a 10,02% en agua caliente y de 1,83 a 11,49% en agua fría. Dichos rangos son más amplios que los encontrados para el presente estudio que fueron de 0,99 a 7,01% en agua caliente y de 0,00 a 7,98% en agua fría para los diferentes tipos de extraíbles en diferentes solventes. En el caso del NaOH los rangos fueron similares entre las especies estudiadas por Moya *et al.* (2010) y el presente estudio. Finalmente los porcentaje de extraíbles en diclorometano y etanol-tolueno en el presente estudio los rangos también son más amplios que los obtenidos por Moya *et al.* (2010).

El alto porcentaje de extraíbles obtenidos en NaOH es 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. Específicamente en el solvente de NaOH, la albura de *C. niveus* presentó más extraíbles que el duramen (Figura 2a). Con el diclorometano y etanol-tolueno fue mayor el porcentaje de extraíbles en la albura que en el duramen, de las especies *C. niveus* y *P. guajava* (Figura 2b y 2c). En el agua caliente nuevamente *C. niveus* y *P. guajava*, pero junto con *C. alliodora* la albura presenta más extraíbles que el duramen (Figura 2d). Finalmente en las especies *C. niveus* y *C. alliodora* los extraíbles son mayores en albura que en duramen (Figura 2e).

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 (Fonseca, 2006). Por ejemplo, en las especies que se presentó una mayor cantidad de extractivos en la albura (*C. niveus*, *P. guayaba* 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.

Además se debe considerar que muchos de los árboles usados como sombra en cafetales los podan constantemente (en el mejor de los casos), 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 expresar las no diferencias encontradas en algunas especies entre la albura y el duramen. Por ejemplo, las especies *F. benjamina*, *P. guayaba*, *S. malaccense* y *T. havanensis* no presentó diferencia 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 proporcionó en la albura en comparación con los datos de duramen de la misma especie, y el *C. lusitanica*, *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, 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.

Químicamente 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%) (CONAFOR, 2010).

De acuerdo a Wilches, 1987, citado por Padilla *et al* (2000), se define el poder calórico, como el calor desprendido por la combustión de una unidad de peso de un cuerpo. Igualmente el autor señala 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 ya que aporta mayor cantidad de calor para un volumen similar, es decir las maderas más pesadas y densas arden por más tiempo, Kodja, 1970; Ullmann's, 1986, citado por Padilla, *et al* (2000).

Como se menciono 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 determina principalmente el contenido de extractivos en la madera de ceras, grasas, resinas y aceites, las cuales son fuentes importantes para iniciar y generar calor.

De acuerdo a los datos encontrados en las especies analizadas se evidencia 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. Esto no significa que el resto de especies no sean aptas, pero su potencial calórico es menor que las anteriormente mencionadas.

## CONCLUSIONES

---

Los análisis realizados nos permiten de forma preliminar establecer el potencial de usos de las especies utilizadas como sombras de café como materia prima para la obtención de poder calórico y extractivos para diferentes productos químicos.

La composición química de los extractivos varía sustancialmente de una especie a otra, más aun entre las diferentes partes de un mismo árbol, específicamente entre albura y duramen, no obstante en el caso de los árboles de cafetal por estar sometidos a constante manejo, las variaciones de los extractivos entre las diferentes partes del árbol es muy variable.

El poder calórico de las especies estudiadas depende de la composición química de la madera y de su contenido de humedad.

## BIBLIOGRAFÍA

---

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA), 2003a. ASTM D-1442-92, Standard test methods for direct moisture content measurements of wood and wood-Base materials (Reproved 2003).

ASTM (American Society for Testing and Materials, USA). 2003b. D 2395-02 Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. In: Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.10. Philadelphia, USA.

BUN-CA ( Oficina Regional para Centroamerica de Biomass Users Network). 2002. Manual sobre energías renovables: Biomasa. San José, C.R. Consultado 12 dic. 2011. Disponible en <http://www.bun-ca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf>

Danse, M. 2002. La caficultura sostenible es más rentable (en línea). San José, CR. CEGESTI. Consultado 4 ene. 2012. Disponible en <http://www.una.ac.cr/Ambien-Tico/101/danse.htm>

Flores, O; Velásquez, J; Toro, M. 2009. Composición química del xilema de Ficus insípida Willd (en línea). Revista Forestal Venezolana. 53: 155-163. Consultado 16 dic. 2011. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31131/1/articulo4.pdf>

Fonseca Maldonado, MR. 2006. Determinación de la composición química de la madera de pino (*Pinus maximinoi* H.E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz. Tesis Bach. Ciudad de Guatemala. GT: Universidad de San Carlos de Guatemala graduación. 154 p.

- ICAFFE ( Instituto del Café de Costa Rica). 2010. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica (en línea). Heredia, CR. Consultado 18 dic. 2011. Disponible en [http://www.icafe.go.cr/sector\\_cafetalero/estadsticas/infor\\_activ\\_cafetal/Informe%20Actividad%20Cafetalera%202010.pdf](http://www.icafe.go.cr/sector_cafetalero/estadsticas/infor_activ_cafetal/Informe%20Actividad%20Cafetalera%202010.pdf)
- ICO (International Coffe Organization, GB). 2006. Story of coffe (en línea). London. GB. Consultado 16 dic. 2011. Disponible en [Http://www.ico.org/coffe\\_story.asp](Http://www.ico.org/coffe_story.asp)
- Kumar, R.; Pandey, K.K.; Chandrashekar y 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. y 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.
- Muschler, RG. 2000. Arboles en cafetales (en línea) Turrialba, CR. Consultado 14 dic. 2011. Disponible en [http://books.google.co.cr/books?id=Kde9Souw1IMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](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; Quintero, L. 2000. Especies usadas como carburantes en la comunidad de Villanueva, Estado Lara-Venezuela (en línea). Revista Forestal Venezolana 44 (1): 11-15. Consultado 14 ene. 2012. Disponible en [http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24172/1/articulo44\\_1\\_1.pdf](http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24172/1/articulo44_1_1.pdf)
- Rojas, F; Canessa, R; Ramírez, J. 2004. Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica. Cartago. CR. ICAFFE- ITCR. 151 p

Tavares, F; Beer, J; Jimenez, F; Schroth, G; Fonseca, C. 1999. Experiencia de agricultores de Costa Rica con la introducción de árboles maderables (en línea). Revista Agroforestería en las Americas. 6 (23). Consultado 6 dic. 2011. Disponible en [http://web.catie.ac.cr/informacion/RAFA/rev23/nfern\\_2.htm](http://web.catie.ac.cr/informacion/RAFA/rev23/nfern_2.htm)

Technical Association of Pulp and Paper Industry. Norma ASTM 1107. Standard Test Method for ethanol-toluene Solubility of Wood Atlanta, Georgia. 2 p.

Technical Association of Pulp and Paper Industry. Norma ASTM 1109. Standard Test Method for 1 % Sodium Hydroxide Solubility of Wood Atlanta, Georgia. 2 p.

Technical Association of Pulp and Paper Industry. Norma ASTM 1110. Standard Test Methods for Water Solubility of Wood: Cold water and Hot water. Atlanta, Georgia. 2 p.

Thomas SC, Malczewski G (2007) Wood carbon content of tree species in Eastern China: Interspecific variability and the importance of the volatile fraction. J Environ Manage 85: 659–662.

Tsoumis, G. 1982. Science and Technology of Wood. Editorial Van Nostrand Reinhold, New York, USA.

Yépez Pacheco, C. 2002. ¿Cómo diversificar la sombra en cafetales con criterios de selección? (en línea). Revista Agroforestería en las Americas. 9 (35-36): 95-98. Consultado 4 ene. 2012. Disponible en [http://web.catie.ac.cr/informacion/RAFA/rev35\\_36/95\\_98.pdf](http://web.catie.ac.cr/informacion/RAFA/rev35_36/95_98.pdf)