



Composición química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. de dos plantaciones forestales como fuente de materia prima lignocelulósica

Chemical composition of leaves and branches of *Cedrela odorata* L. from two forest plantations as a source of lignocellulosic feedstock

Martha Rosales-Castro¹, J. Amador Honorato-Salazar^{1*}, Ariana Berenice Santos-García¹, Ma. Elena Pérez-López¹,
Gertrudis Colotl-Hernández² y Vicente Sánchez-Monsalvo²

¹ Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Durango, Durango, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap), Campo Experimental San Martinito, Puebla, México.

* Autor de correspondencia:
honorato.amador@inifap.gob.mx

RESUMEN

Cedrela odorata L., conocida como cedro rojo, es una de las especies de mayor valor económico en la producción forestal de México. Aunque la madera es el producto principal que se obtiene de esta especie, se generan también residuos como ramas y hojas en los aclareos y podas, así como aserrín y costeras en el aserrío. En este trabajo se evaluó la composición química de hojas, madera de ramas y aserrín de cedro rojo, en muestras colectadas en dos plantaciones experimentales en El Palmar, Veracruz y San Felipe Bacalar, Quintana Roo, así como la concentración de fenoles totales, flavonoides y su capacidad de captación de radicales libres, enfocadas hacia valorar su potencial como fuente lignocelulósica para obtención de biocombustibles y/o hacia la aplicación en áreas biomédicas. Las hojas presentan altas concentraciones de extraíbles con valores máximos de 34,78%, polisacáridos 67,11%, lignina 33,10%, azúcares reductores 6,52%, fenoles 211,91 mgEAG/g, flavonoides 81,05 mgEC/g, pero no presentan actividad de antiradicales libres. En cambio, la madera, tanto de ramas como de aserrín, presenta bajas concentraciones de extraíbles 6,10%, polisacáridos 78,46%, lignina 32,24%, azúcares reductores 8,87%, fenoles 355,57 mgEAG/g, flavonoides 178,56 mgEC/g, y alta capacidad de captación de radicales libres. Se encontraron diferencias en las concentraciones lignocelulósicas entre las muestras colectadas en las dos plantaciones, sobresaliendo las colectadas en Bacalar, Q. R. Los resultados obtenidos indican que las hojas, la madera de ramas y aserrín son viables para obtención de carbohidratos, mientras que la madera puede ser una fuente de obtención fenoles y flavonoides con posibles aplicaciones terapéuticas.

PALABRAS CLAVE: cedro rojo, celulosa, extractos, lignina, madera, polifenoles.

ABSTRACT

Cedrela odorata L., known as red cedar, is one of the most economically valuable species in Mexican forestry production. Although timber is the main product obtained from this species, branches and leaves are generated from thinning and pruning activities, as well as sawdust from sawmilling. These materials are currently considered as waste. This study evaluated the chemical composition of the leaves, branch wood and sawdust of red cedar from samples collected in two experimental forest plantations in El Palmar, Veracruz and San Felipe Bacalar, Quintana Roo. Concentrations of total phenols, flavonoids and their capacity for scavenging free radicals were evaluated, focusing on their potential use as a lignocellulosic source for obtaining biofuels and in applications in biomedical areas. The leaves have high concentrations of extractables with maximum values of 34,78%, polysaccharides 67,11%, lignin 31,10%, reducing sugars 6,52%, phenols 211,91 mgGAE/g, flavonoids 81,05 mgCE/g, but did not show free radical scavenging activity. In contrast, the branch wood and sawdust had low extractable levels with 6,10%, polysaccharides 78,46%, lignin 32,24%, reductor sugars 8,87%, phenols 355,57 mgGAE/g, flavonoids 178,56 mgCE/g and a high capacity for free radical scavenging. Differences were found in lignocellulosic concentrations among the samples collected at the two plantations, with the highest values in those collected at Bacalar, QR. The results obtained indicate that the leaves, branch wood and sawdust are viable for obtaining carbohydrates; while the wood can be a source of phenols and flavonoids with possible therapeutic applications.

KEYWORDS: red cedar, cellulose, extracts, lignin, wood, polyphenols.

INTRODUCCIÓN

La superficie de plantaciones forestales comerciales maderables en México, establecidas hasta 2014, es de 177 216 hectáreas. Las plantaciones con especies tropicales incluyen *Cedrela odorata*, *Eucalyptus spp.*, *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea* y cubren 73.9% de la superficie. Las plantaciones de *Cedrela odorata* cubren 20.5% de la superficie total plantada, ubicadas principalmente en los estados de Veracruz, Campeche, Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Guerrero y Quintana Roo (Comisión Nacional Forestal, 2015).

Cedrela odorata L., conocida como cedro rojo, pertenece a la familia Meliaceae, es una de las especies de mayor valor económico porque la madera se utiliza principalmente para la fabricación de muebles de calidad. Junto con la caoba, constituye uno de los pilares de la producción forestal de maderas preciosas en México. Debido a su valor económico, estas especies han sido severamente afectadas por la selección disgénica y la deforestación, al fragmentar y disminuir sus poblaciones naturales (Sánchez, Salazar, Hernández, López y Jasso, 2003; Martínez-Vento, Estrada-Ortiz, Góngora-Rojas, López-Castilla, Martínez-González y Curbelo-Gómez, 2010). Por esta razón se han emprendido acciones de conservación y mejoramiento genético de esta especie, mediante el establecimiento de ensayos de procedencias y plantaciones en el golfo y sureste de México.

Aunque el producto principal de cedro rojo es la madera aserrada, también se generan residuos como ramas y hojas que provienen de aclareos y podas, así como aserrín y costeras generados en la industrialización de la madera, sin valor comercial aparente.

Los residuos forestales pueden de ser utilizados de una forma ecológica y económica, por ejemplo, en la producción de combustibles renovables como etanol (bioetanol), así como para obtener productos de alta demanda en la industria farmacéutica, química, cosmética y el sector agrícola (Wetzel, Duchesne y Laporte, 2006; Díaz, Alesandrini y Herrera, 2007).

La biomasa lignocelulósica está compuesta principalmente por los polímeros de celulosa, hemicelulosas y lignina, que están asociados y sirven de soporte estructural a

la pared celular (Rowell, Pettersen, Han, Rowell y Tshabalala, 2005). La fracción total de polisacáridos, se le conoce como holocelulosa y está formada por la combinación de celulosa y hemicelulosas.

La celulosa está formada por unidades de glucosa y se considera que es el compuesto químico orgánico más abundante en la tierra, que representa en promedio de 38% a 49% del peso seco de la madera y es la materia para la fabricación de papel, películas, explosivos, plásticos, combustibles, además de tener diversos usos y aplicaciones industriales (Fengel, y Wegener, 2003; Rowell *et al.*, 2005).

Las hemicelulosas son polímeros heterogéneos cortos ramificados compuestos por pentosas, hexosas y diferentes tipos de ácidos urónicos. Estos compuestos representan un inmenso recurso renovable de biopolímeros que pueden usarse en la industria química, alimenticia, farmacéutica y cosmética (Rowell *et al.*, 2005).

La lignina es un polímero amorfo, constituido por tres tipos de monómeros básicos de fenilpropano y representa de 18% a 35% del peso seco de la madera. Este compuesto se obtiene principalmente como residuo de la industria de la celulosa y papel, por lo que se ha considerado como un material de baja calidad y de bajo valor agregado industrial (Fengel, y Wegener, 2003; Rowell *et al.*, 2005). Sin embargo, dado que es una materia prima abundante, en el futuro podría convertirse en el principal recurso para la obtención de diversas sustancias derivadas del petróleo tales como combustible, resinas, aditivos, dispersantes, mezclas termoplásticas y productos farmacéuticos (Stewart, 2008).

Las sustancias extraíbles formadas por el metabolismo secundario de las plantas, son un grupo de compuestos químicos que están constituidos por ácidos grasos, alcoholes grasos, ácidos resínicos, terpenos, fenoles, taninos, esteroides, alcaloides, compuestos nitrogenados, azúcares, grasas y ceras (Rowell *et al.*, 2005; Taiz y Zeiger, 2006). Estos compuestos son de gran interés por sus diversas aplicaciones en medicina, cosméticos, añejamiento de bebidas alcohólicas, como preservadores y en la obtención de aceites esenciales (Arung, Wicaksono, Handoko, Kusuma, Yulia y Sandra, 2009; Hnawia, Menut, Agrebi y



Caballio, 2009; Rodríguez, Suárez, Diñero, del Valle y Picinelli, 2010; Tascioglu, Yalcin, de Troya y Siyrikaya, 2012, Philippov y Bogorodov, 2013).

Los fenoles son compuestos que poseen uno o más anillos aromáticos con uno o más grupos hidroxilo, que abarcan un gran y diverso número de compuestos químicos entre los que se encuentran ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y lignanos. Estos compuestos son de interés por sus diferentes efectos beneficiosos en las plantas y son reconocidos por su uso potencial en la prevención y tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas, por lo que han sido probadas sus propiedades antioxidantes, antimutagénicas, antiinflamatorias, antimicrobianas y anticancerígenas (Lattanzio, Kroon, Quideau y Treutter, 2008).

El uso de materiales lignocelulósicos se investiga intensamente debido a que éstos representan el componente mayor en los residuos agrícolas, agroindustriales y agroforestales en el mundo y constituyen una fuente abundante y sostenible de recursos renovables y energía.

OBJETIVOS

En el presente trabajo se analizaron las hojas y la madera de ramas de cedro rojo procedente de dos plantaciones forestales con los objetivos de evaluar: 1) la composición química, determinando los contenidos de extraíbles totales, holocelulosa, α -celulosa, lignina y azúcares reductores, como fuente de biomasa lignocelulósica para la producción de etanol; 2) la concentración de fenoles totales y flavonoides y 3) la capacidad inhibitoria de radicales libres, con vistas hacia el uso en áreas biomédicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta del material

El material de estudio se colectó en dos plantaciones forestales experimentales ubicadas en El Palmar, Tezonapa Veracruz y San Felipe Bacalar, Othón Pompeyo Blanco, Quintana Roo.

La plantación de El Palmar tiene una ubicación geográfica de 18° 31,03' latitud Norte y 96° 47,93' longitud Oeste; altitud de 180 m snm, el clima es cálido-húmedo

con lluvias en verano con una precipitación media anual de 2888 mm, y temperaturas medias de 16 °C a 36 °C en el año. La fisiografía presenta terrenos planos y lomeríos, los suelos son del tipo acrisol, profundos y de buen drenaje y poseen una textura de migajón arcillo-arenoso y pH de 4,8 (Sánchez *et al.*, 2003).

La plantación de San Felipe Bacalar está ubicada en las coordenadas geográficas 18° 48,5' latitud Norte y 88° 24,5' longitud Oeste, a una altitud de 10 m snm. El clima del sitio es cálido-subhúmedo, con lluvias en verano y parte del invierno, la oscilación térmica es entre 5 °C a 7 °C. La temperatura media anual es de 26 °C y la precipitación anual de 1000 mm a 1200 mm con una época seca bien marcada entre diciembre y mayo. La fisiografía general del terreno es casi plana (Arguelles y Palafox, 2008).

En El Palmar se colectaron muestras en las plantaciones de 8 y 18 años de edad, mientras que en San Felipe Bacalar la colecta fue en las plantaciones de 9 y 10 años de edad. Se colectaron hojas (H) y las ramas (R) de dos árboles seleccionados al azar, en ambas plantaciones de cada edad. Adicionalmente se realizó una mezcla en partes iguales de hojas (MH) y otra mezcla de la madera de ramas sin corteza (MR).

Se colectó también aserrín de madera (de fuste), en una carpintería en El Palmar, que aprovecha las trozas de cedro rojo.

Preparación del material

Las hojas y ramas se secaron a temperatura ambiente bajo la sombra, después se molieron en un molino tipo Wiley. Las ramas se descortezaron antes de ser molidas, analizándose la madera de las ramas sin corteza. El material se tamizó en mallas de los números 40 (0,42 mm) y 60 (0,250 mm). La fracción del material retenido en la malla del número 60 se utilizó para la determinación de la composición química principal (TAPPI T 257).

Métodos analíticos de estudio

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo experimental de los métodos analíticos usados para los diferentes estudios, los cuales se describen a continuación.

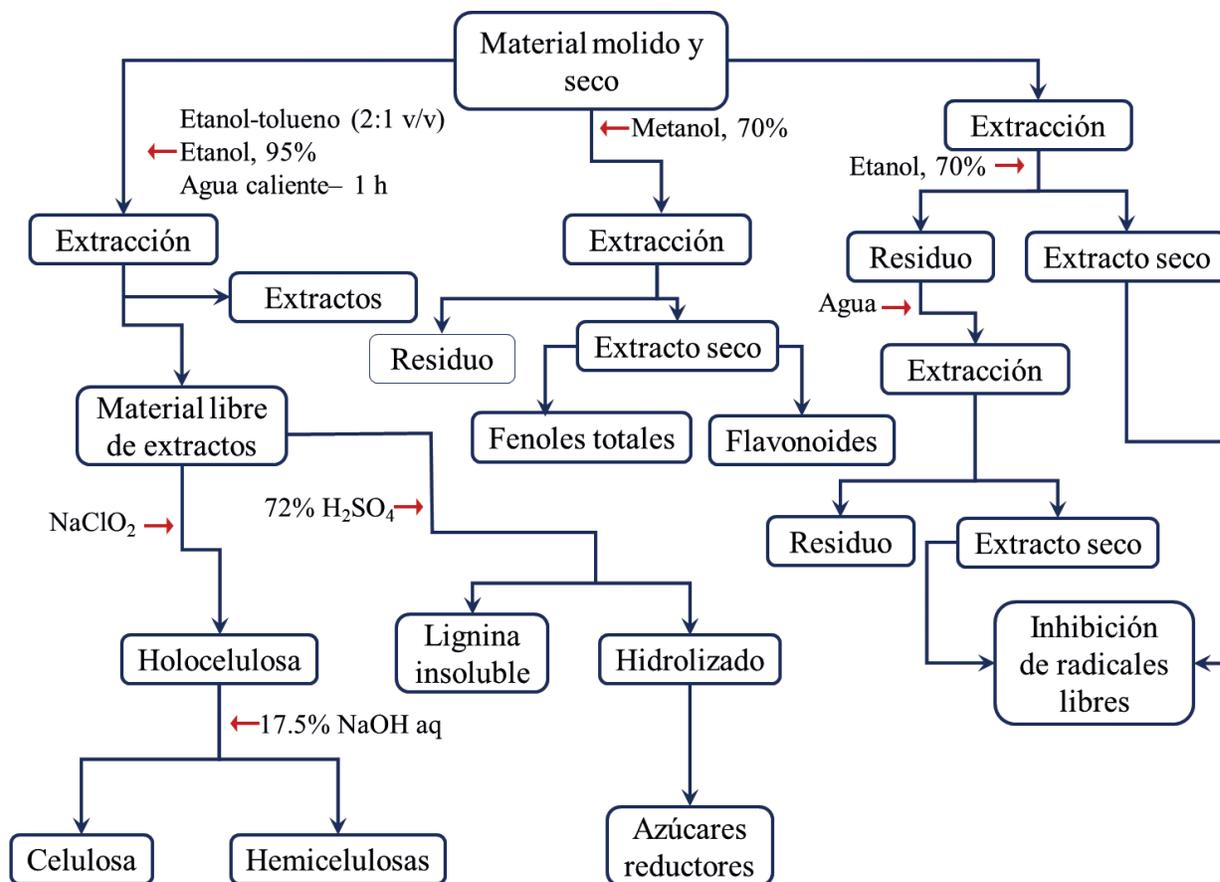


FIGURA 1. Diagrama de flujo experimental.

Composición química

Sustancias extraíbles

La determinación de extraíbles se efectuó en forma secuencial con etanol-tolueno (2:1 v/v), etanol a 95% y agua caliente, siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D1105 (ASTM, 2010) y realizando dos repeticiones por muestra.

Los extraíbles totales se calcularon con la suma de los porcentajes de extraíbles en cada disolvente. Las muestras de hojas y madera libre de extractos se utilizaron para la determinación de holocelulosa, α -celulosa y lignina.

Lignina insoluble

Se determinó mediante la técnica descrita por Effland (1977), que consistió en realizarla en una autoclave a

121°C, durante 1 h y la cual es una modificación al procedimiento TAPPI T 222. El residuo insoluble de la hidrólisis se cuantificó gravimétricamente mientras que el hidrolizado (líquido) se guardó para el análisis de azúcares reductores.

Holocelulosa

El contenido de holocelulosa se determinó por el método del clorito ácido, descrito por Rowell *et al.*, (2005), que es similar al procedimiento de Wise.

α -celulosa

La cantidad de celulosa se cuantificó a partir de la holocelulosa, empleando la técnica de la norma ASTM D1103 (ASTM, 1977).



Hemicelulosa

Se calculó por diferencia entre holocelulosa y celulosa.

Azúcares reductores

La concentración de los azúcares reductores se evaluó a partir del hidrolizado obtenido en la cuantificación de lignina insoluble. Se utilizó la técnica del ácido dinitrosalicílico (DNS), de acuerdo con el procedimiento de Chaplin y Kennedy (1994). La concentración de azúcares reductores se calculó a partir de una curva de calibración con glucosa a 200 ppm, 400 ppm, 600 ppm, 800 ppm, 1000 ppm ($y = 0,0002x - 0,0308$; $R^2 = 0,9981$), expresados en mg de glucosa/100 mg de material (porcentaje).

Evaluación de fenoles y flavonoides en extractos metanólicos

Extracción con metanol 70%

Se maceraron 5 g de material (hojas o madera) con 50 ml de metanol acuoso al 70% (v/v), en dos períodos de 24 h cada uno. El extracto se filtró y concentró en un rotavapor a 45 °C para recuperar el disolvente (metanol), y posteriormente se llevó a sequedad en una campana de extracción. A partir del extracto seco se evaluó la cantidad de fenoles totales y flavonoides.

Evaluación de fenoles totales

Se utilizó el método de Folín-Ciocalteu descrito por Rosales-Castro, González-Laredo, Rocha-Guzmán, Gallegos-Infante, Peralta-Cruz y Karchesy, (2009). Se trabajó con una curva de calibración de ácido gálico a concentraciones de 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, 500 ppm y 600 ppm ($y = 0,001x + 0,0371$; $R^2 = 0,9969$). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico/g de extracto seco (mg EAG/g).

Evaluación de flavonoides

La concentración de flavonoides en los extractos metanólicos se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Rosales-Castro *et al.*, (2009), a concentraciones de 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm y 300 ppm

($y = 0,0035x - 0,0299$; $R^2 = 0,9985$). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de catequina/g de extracto seco (mg EC/g).

Evaluación de la capacidad inhibitoria de radicales libres

Extracción con etanol 70% y agua

100 g de material (hojas o madera) se maceró con 500 ml de etanol acuoso a 70% (v/v) durante 48 h a temperatura ambiente. El extracto se filtró, se concentró en rotavapor a 45 °C para recuperar el disolvente (etanol) y el extracto concentrado se llevó a sequedad en campana de flujo laminar. El material remanente se sometió a una extracción (sucesiva) con 500 ml de agua destilada durante 48 horas a 20 °C. Una porción del extracto se llevó a sequedad en campana de extracción a temperatura ambiente. Todas las extracciones se realizaron por triplicado. Se evaluó el rendimiento en sólidos (extracto total), que corresponden a los sólidos disueltos en el disolvente con respecto a la cantidad de material a extraer y a partir del extracto seco se evaluó la inhibición de radicales libres.

Captura de radical DPPH

La capacidad inhibitoria de radicales libres se evaluó mediante el método de DPPH (radical 2,2,-difencil-1-picrilhidracilo). Se realizó en los extractos de etanol 70% y acuosos. Se aplicó la metodología descrita por Rosales-Castro, Pérez-López y Ponce-Rodríguez, (2006). Los extractos se probaron a concentraciones de 250 ppm, 500 ppm, 750 ppm y 1000 ppm, y se calculó la Concentración Efectiva 50 (CE_{50}), que indica la concentración para inhibir 50% del radical. Como estándares de referencia se utilizaron los flavonoides catequina y rutina a concentraciones de 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm y 300 ppm. La capacidad de atrapamiento del radical se calculó con la siguiente fórmula:

$$ARL = \frac{100 (A_o - A_m)}{A_o}$$

Donde:

A_0 = Absorbancia inicial del radical DPPH sin muestra

A_m = Absorbancia de la solución con muestra (DPPH + extracto)

Análisis estadístico

Los efectos de la edad y el sitio de crecimiento sobre la composición química de las hojas y ramas se analizaron mediante el modelo estadístico siguiente (Montgomery y Runger, 2014):

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + e_{ijkl} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ijkl} = Compuesto determinado

μ = Valor promedio general

α_i = Efecto de la edad

β_j = Efecto del sitio

γ_k = Efecto del material

e_{ijkl} = Error experimental

Se consideraron diferencias significativas cuando, en el análisis de varianza (ANOVA), la probabilidad del valor de F fue menor a 0,05. Para identificar la diferencia entre los valores promedio, se realizó una comparación múltiple de medias por medio del procedimiento de Fisher ($\alpha = 0,05$).

Los valores de la composición química de las hojas, ramas y aserrín se utilizaron para realizar un análisis discriminante canónico (ADC) con el fin de identificar diferencias grupales entre la edad y el sitio, así como los atributos de composición química que más contribuyen a maximizar la diferencia entre los grupos (Rencher, 2002). Esto se realizó usando los procedimientos STEPDISC y CANDISC de SAS (SAS, 2000).

RESULTADOS

Composición química

Sustancias extraíbles

La concentración de extractos fue variable dependiendo de la edad, el tipo solvente y el material (Tabla 1). Para

todos los solventes, las mayores concentraciones ($p < 0,5$) de extractos se obtuvieron en las hojas y la menor concentración en la madera de las ramas. En el caso de etanol-tolueno, las hojas y las ramas de 18 años de El Palmar presentaron la más alta concentración de extractos con 20%, 86% y 3,38%, respectivamente, mientras que las menores cantidades se observaron en hojas y ramas de 8 años de la misma localidad, con un contenido respectivo de 11,06% y 1,69%. El contenido de extractos en etanol fue mayor tanto en las hojas (9,54%) como en las ramas (2,46%) de 9 años de edad para la localidad de Bacalar, mientras que las menores cantidades de extractos fueron para las hojas (1,44%) y las ramas (0,57%) de 18 años de El Palmar. En agua caliente, el contenido de extractos fue mayor en la mezcla de las hojas (16,76%) y las ramas (2,27%) y menor en las hojas de 10 años de Bacalar (30,06%), así como en las ramas de 8 años (4,91%) de El Palmar. Se presentaron problemas en la cuantificación de las repeticiones en el contenido de extractos de las hojas de 18 años de El Palmar, por lo que solo se presenta el valor de una repetición lo que pudiera no reflejar adecuadamente el valor de la comparación significativa en la comparación múltiple con los otros valores, como en el caso de los extractos de etanol-tolueno; en los otros contenidos de extractos la comparación es válida.

La edad y la localidad de crecimiento mostraron efectos significativos sobre la composición química de las hojas y ramas de cedro rojo, así como en la cantidad de azúcares reductores. Los contenidos de holocelulosa, celulosa y azúcares reductores fueron mayores en la madera de las ramas de cedro rojo (Tabla 2) que en las hojas, mientras que para los contenidos de hemicelulosas y lignina fueron similares en las ramas y las hojas. La composición química del aserrín fue similar a la madera de las ramas, pero diferente a la de las hojas. Con excepción de la lignina, la cantidad de los compuestos químicos son mayores entre las edades de 8 y 9 años, tanto para las hojas como para las ramas.

Holocelulosa

El contenido general promedio de holocelulosa fue de 64,20% para las hojas, de 73,85% para las ramas y de



TABLA 1. Contenido de extraíbles de hojas y madera de ramas de cedro rojo.

CLAVE	Etanol Tolueno (%)		Etanol (%)		Agua caliente (%)		Total de extractos (%)	
9BH	13,40* ± 3,54 ¹	B ²	9,54 ± 4,68	A	10,56 ± 1,50	B	33,51 ± 2,64	A B
10BH	13,38 ± 0,12	B	4,43 ± 2,33	A B	12,25 ± 5,46	A B	30,06 ± 3,01	B
8PH	11,06 ± 3,27	B	8,99 ± 1,72	A	13,27 ± 1,78	A B	33,32 ± 3,19	A B
MH	12,66 ± 2,75	B	5,36 ± 4,55	A B	16,76 ± 0,64	A	34,78 ± 1,15	A
9BR	1,71 ± 0,26	C	2,46 ± 0,84	B	1,31 ± 0,15	C	5,47 ± 1,25	C
10BR	1,97 ± 0,21	C	1,86 ± 1,22	B	2,01 ± 1,29	C	5,83 ± 0,14	C
8PR	1,69 ± 0,76	C	1,42 ± 0,45	B	1,81 ± 0,37	C	4,91 ± 0,07	C
18PR	3,38 ± 0,13	C	0,57 ± 0,07	B	2,15 ± 0,55	C	6,10 ± 0,49	C
MR	2,30 ± 0,38	C	1,29 ± 0,64	B	2,27 ± 0,08	C	5,86 ± 0,18	C

P = Palmar, B = Bacalar, H = Hoja, R = Rama, M = Mezcla; Edad=8, 9, 10 y 18 años. Ejemplo de clave: 9BR significa ramas de 9 años de Bacalar. * Valores promedio. ¹ Desviación estándar. ² Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

TABLA 2. Composición química principal y azúcares reductores de hojas y madera de ramas de cedro rojo.

CLAVE	Holocelulosa (%)*	α -celulosa (%)*	Hemicelulosas (%)*			Lignina (%)*	Azúcares reductores (%)	
9BH	67,11 ± 0,99 ¹	E ²	30,28 ± 1,07	F	36,83 ± 1,76	A	27,24 ± 0,65	B 6,52 ± 0,99 D
10BH	66,19 ± 0,61	E	32,38 ± 0,53	E	33,81 ± 0,97	C E D	27,89 ± 1,59	B 6,29 ± 0,50 D
8PH	60,81 ± 0,54	F	26,39 ± 0,26	H	34,43 ± 0,43	C B D	26,57 ± 5,28	B 6,15 ± 1,32 D
18PH	60,36 ± 0,71	F	27,41 ± 0,27	G	32,95 ± 0,44	F E D	33,49 ± 0,17	A 5,81 ± 0,30 D
MH	61,62 ± 0,55	F	32,63 ± 0,14	E	28,99 ± 0,41	H	27,84 ± 0,20	B 5,84 ± 0,11 D
9BR	76,94 ± 0,54	B	41,46 ± 0,49	B	35,48 ± 0,60	A B	28,81 ± 1,25	B 8,58 ± 0,50 A B
10BR	78,46 ± 0,75	A	43,40 ± 0,52	A	35,06 ± 0,37	C B	27,07 ± 0,85	B 8,87 ± 0,70 A
8PR	71,65 ± 1,67	C	38,62 ± 0,60	C	33,03 ± 1,99	F E D	31,57 ± 0,48	A 8,00 ± 0,31 C B
18PR	70,40 ± 1,27	C D	38,23 ± 0,79	C	32,16 ± 0,58	F G	31,54 ± 0,22	A 8,70 ± 0,21 A B
MR	69,74 ± 0,62	D	36,93 ± 0,47	D	32,81 ± 0,21	F E	32,24 ± 0,02	A 7,70 ± 0,19 C
Aserrín	71,65 ± 0,21	C	40,85 ± 0,13	B	30,80 ± 0,08	G	33,12 ± 0,02	A 8,68 ± 0,75 A B

P = Palmar, B = Bacalar, H = Hoja, R = Rama, M = Mezcla; Edad=8, 9, 10 y 18 años. Ejemplo de clave: 9BR significa ramas de 9 años de Bacalar. * Valores con base al material anhidro libre de extractos. ¹ Desviación estándar. ² Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

71,65% para el aserrín, con diferencias significativas ($p < 0,05$). La diferencia en la cantidad de holocelulosa se observó en las ramas (69,74% a 78,46%) de las diferentes localidades y en las hojas (60,36% a 67,11%) (Tabla 2). Las hojas y ramas de Bacalar mostraron mayor contenido de holocelulosa que el material de El Palmar.

α -celulosa

Los valores obtenidos de α -celulosa fueron mayores en el aserrín (40,85%) que en las ramas (40,04%) y en las hojas (30,25%), observándose diferencias ($p < 0,05$) entre las localidades de las hojas y las ramas y siendo mayor el contenido de α -celulosa en las hojas y ramas de Bacalar que en las de El Palmar (Tabla 2).

Hemicelulosas

Los contenidos de hemicelulosas fueron de 28,99% a 36,38% en hojas, 32,16% a 35,48% en ramas y 30,80% en aserrín, presentándose diferencias entre las localidades de Bacalar y El Palmar (Tabla 2).

Lignina

El porcentaje promedio de lignina varió poco entre las localidades y el tipo de material, encontrándose diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las hojas y ramas del El Palmar de 18 años con respecto a las otras edades y a la localidad de Bacalar (Tabla 2). Los contenidos de lignina obtenidos fueron de 26,57% a 33,49% en hojas, de 27,07% a 32,24% en ramas y 33,12% en aserrín.

Azúcares reductores

Los porcentajes de azúcares reductores en las muestras de *C. odorata* fueron de 6,16% como promedio general en hojas, 8,44% en las ramas y 8,68% en el aserrín (Tabla 2), con diferencias significativas entre el tipo de material y la concentración de azúcares reductores ($p < 0,05$). Solo en las ramas se presentaron diferencias significativas entre los sitios de colecta. Las muestras procedentes de Bacalar presentaron mayores azúcares reductores que las de El Palmar.

La correlación entre el contenido de α -celulosa y el porcentaje de azúcares reductores en las muestras analizadas fue de 0,893, lo cual es razonable ya que la α -celulosa al ser un homopolisacárido formado sólo por unidades D-(+) glucosa enlazadas entre sí por enlaces β -1-4, puede hidrolizarse a D-(+) glucosa, la cual es un azúcar reductor.

Evaluación de fenoles y flavonoides

Fenoles

La concentración de fenoles en los extractos metanólicos de las hojas y la madera presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), obteniéndose una mayor concentración en las ramas (235 mg EAG/g), que en el aserrín (191 mg EAG/g) y las hojas (123,67 mg EAG/g). La localidad tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) en las hojas (Tabla 3), mostrando que la mayor cantidad de fenoles se presenta en El Palmar.

TABLA 3. Concentración de fenoles totales y flavonoides en extractos metanólicos de hojas y madera de ramas de cedro rojo.

Clave	Fenoles totales (mg EAG/g)		Flavonoides (mg EC/g)	
9BH	78,54 \pm 7,62 ¹	E ²	41,60 \pm 3,69	F
10BH	142,19 \pm 36,75	D	61,67 \pm 10,18	E
8PH	132,77 \pm 17,48	D	67,50 \pm 4,95	E
18PH	211,91 \pm 10,48	B C	81,05 \pm 5,42	D
9BR	217,71 \pm 40,02	B C	99,38 \pm 16,06	C
10BR	248,13 \pm 29,57	B	131,95 \pm 16,87	B
8PR	122,75 \pm 22,30	D	75,05 \pm 9,58	D E
18PR	355,57 \pm 52,75	A	178,56 \pm 16,91	A
Aserrín	191,00 \pm 4,00	C	134,00 \pm 5,29	B

P = Palmar, B = Bacalar, H = Hoja, R = Rama, Edad=8, 9, 10 y 18 años. Ejemplo de clave: 09BR significa ramas de 9 años de Bacalar. ¹ Desviación estándar, ² Valores con la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

La edad también afecta el contenido de fenoles, ya que el material de los árboles más jóvenes presentó menor cantidad de fenoles que el material de los árboles de mayor edad, para las dos localidades.

Flavonoides

Las cantidades de flavonoides fueron afectadas por el tipo de material y la localidad. El aserrín presentó la mayor concentración de flavonoides (134 mg EC/g), seguido de las ramas (121,23 mg EC/g) y las hojas (60,37 mg EC/g). En general, se obtuvieron mayores cantidades de flavonoides en las hojas de la localidad de El Palmar que de Bacalar. Asimismo, los flavonoides tienden a aumentar con la edad (Tabla 3), obteniéndose las mayores cantidades a los 18 años, 81,05 mg EC/g para hojas y 178,56 mg EC/g para ramas.

Evaluación de la capacidad inhibitoria de radicales libres

El efecto de los extractos etanólicos y acuosos de hojas y madera (ramas y aserrín) de *C. odorata* sobre la inhibición del radical DPPH se presenta en la figura 2, y se compara con los estándares de referencia, el flavanol catequina y el flavanol rutina. En el Tabla 4 se muestran los rendimientos de los extractos y la capacidad inhibitoria del DPPH, expresada

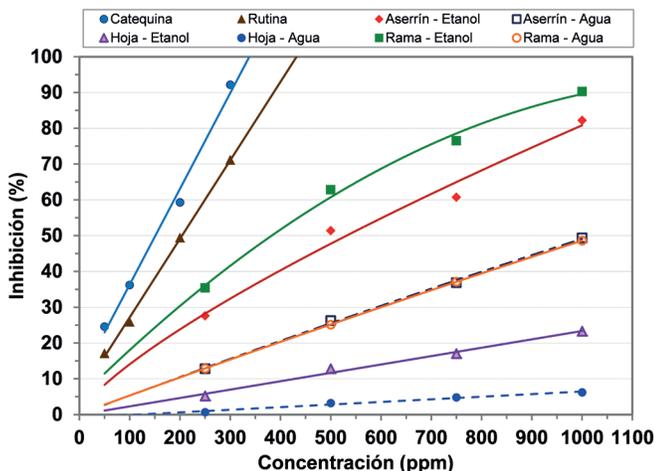


FIGURA 2. Inhibición del radical DPPH por efecto de los extractos etanólicos, acuosos y estándares de referencia.

como concentración efectiva 50 (CE_{50}), que indica la concentración del extracto para inhibir 50% del radical, y se interpreta como: a menor concentración mayor inhibición.

El rendimiento de extractos en la madera, tanto de ramas como de aserrín fueron bajos, de 3,0% y 2,0% con etanol al 70% y de 1,0% y 0,8% con agua, respectivamente. En las hojas se alcanzaron rendimientos de 14,7% y 8,3% con etanol 70% y agua. El rendimiento de extracto máximo alcanzado en la madera de *C. odorata* fue de 4,0%, que corresponde a la suma de extraíbles con etanol 70% seguido por agua.

La mayor inhibición del radical se obtuvo con los extractos etanólicos de la madera de ramas, con CE_{50} de 383,0 ppm, seguida por la de aserrín con 485,0 ppm, aunque ninguno de los dos alcanzó la inhibición de los estándares de referencia, catequina 160,0 ppm y rutina 203,0 ppm. La inhibición fue mucho menor en los extractos acuosos, con valores respectivos de 1028 ppm y 1013 ppm. Los extractos en etanol y agua de hojas también tuvieron baja inhibición, con 2233 ppm y 7366 ppm, respectivamente.

Análisis canónico discriminante

El análisis canónico discriminante mostró que tres funciones discriminantes explican 97% del total de la variación

TABLA 4. Rendimiento de extractos de etanol 70% y agua en muestras de *Cedrela odorata* e inhibición del radical DPPH en extractos y estándares de referencia.

Muestra	Rendimiento de extracto (%)	Inhibición del radical DPPH (CE_{50}) ppm
Rama etanol	3,0	383,0
Aserrín etanol	2,0	485,0
Hoja etanol	14,7	2233,0
Rama agua	1,0	1028,8
Aserrín agua	0,8	1013,0
Hoja agua	8,3	7366,0
Catequina (estándar)	--	160,0
Rutina (estándar)	--	203,0

(Tabla 5) y contribuyen significativamente a la separación entre la localidad y el tipo de material (Lambda de Wilks: $F = 25,07$, $p < 0,0001$, $n = 17$). La primera función explicó 90,4% de la variación con una autovalor de 151,85, la segunda función describió 7,3% con un autovalor de 12,31% y la tercera función expresó 1,6% de la variación con un autovalor de 2,65%. Las variables que más contribuyeron en las funciones discriminantes fueron los contenidos de α -celulosa para la primera función, de flavonoides y lignina para la segunda función y de fenoles y flavonoides para la tercera función (Tabla 6). En la figura 3 se observa que la función CAN1 permite discriminar la madera de las ramas y del aserrín en la parte positiva y las hojas en la parte negativa, mientras que la función CAN2 permite ubicar en la parte positiva la localidad de El Palmar y en la parte negativa localidad de Bacalar.

DISCUSIÓN

Composición química

Sustancias extraíbles

El estudio de extractos en el follaje de especies maderables y no maderables se ha incrementado por ser un recurso

TABLA 5. Resumen de resultados del análisis discriminante canónico de las variables químicas de las hojas, ramas y aserrín de *C. odorata*.

Función canónica	Autovalor	Varianza		Correlación canónica	Pr > F
		Proporción	Acumulada		
Can1	151,85	0,904	0,904	0,997	< 0,0001
Can2	12,31	0,073	0,977	0,962	< 0,0001
Can3	2,65	0,016	0,993	0,852	< 0,0001

TABLA 6. Coeficientes de correlación canónicos de las variables químicas de las hojas, ramas y aserrín de *C. odorata*.

Variable	Can1	Can2	Can3
Azúcares reductores (%)	0,1932	0,1299	0,1262
α -celulosa (%)	0,6759★	0,1016	-0,0102
Fenoles (%)	0,1024	0,4879	0,5575★
Flavonoides (%)	0,1804	0,7486★	0,5438★
Hemicelulosas (%)	-0,0166	-0,4258	0,2331
Holocelulosa (%)	0,4946	-0,4621	0,2876
Lignina (%)	-0,0152	0,6227★	-0,4568

★ Variables que contribuyeron a la separación de los centros de grupo.

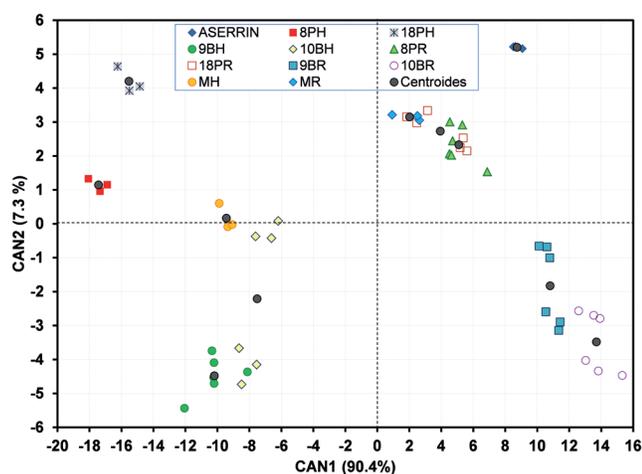


FIGURA 3. Valores canónicos individuales de las dos funciones discriminantes canónicas y posición de los centros por edad, localidad y material. P = Palmar, B = Bacalar, H = Hoja, R = Rama, M= Mezcla; Edad = 8, 9, 10 y 18 años. Ejemplo de clave: 10BR significa ramas de 10 años de Bacalar.

potencial para la obtención de compuestos químicos y forraje (Fengel, y Wegener, 2003; García, Martínez, Quert, Guyat, Acosta y Capote, 2004; Khan, Varshney y Naithani, 2014); quizá esto se deba a que el contenido de extractos es más alto en el follaje, en comparación con la corteza y la madera (Jacob, Da Silva Perez, Dupont, Commandré, Broust, Carriau y Sacco., 2013; Jacob, da Silva Perez, Dupont, Broust, Commandré y Sacco, 2014; Camarena-Tello, Rocha-Guzmán, Gallegos-Infante, González-Laredo y Pedraza-Bucio, 2015). Este comportamiento también se observó en este estudio, en donde, en promedio, el contenido de extractos fue de 4 a 6 veces mayor en las hojas que en las ramas y están dentro del intervalo de 1:1,4 a 1:11,8 publicado por Camarena-Tello *et al.* (2015), para *Psidium guajava* y de 1:2 a 1:6 para clones de *Eucalyptus gundal* (Jacob *et al.*, 2014). Los contenidos totales de extractos obtenidos en cedro rojo son menores a los encontrados en ramas (19,46%) y hojas (43,46%) de *Psidium guajava* (Camarena-Tello *et al.*, 2015), así como los obtenidos en la madera (7%) y hojas (41%) de *Eucalyptus gundal* (Jacob *et al.*, 2014).

La concentración general promedio de extraíbles en la madera *C. odorata* (5,63%) fue mucho menor a la encontrada por Rutiaga, Pedraza-Bucio y López-Albarrán, (2010) para la madera de *Dalbergia granadillo* (14,16% a 33,35%) y *Platymiscium lasiocarpum* (11,19% a 26,93%) y para la madera de *Haematoxylum brasiletto*, con rendimientos de 9,84% a 29,70% (Ávila y Rutiaga, 2014).

Los valores de holocelulosa obtenidos en este trabajo son mayores a los hallados para hojas (26,56% a 34,11%) y ramas (60,20% a 69,49%) de *P. guajava* (Camarena-



Tello *et al.*, 2015). La cantidad holocelulosa en las ramas de *C. odorata* está dentro del intervalo encontrado para la misma especie en la madera de albura (70,9%) y duramen (65,8%) (Suzuki, Matsushita, Imai, Sakurai, Henriques de Jesus, Ozaki, Finger y Fukushima, 2008), pero fue superior a lo publicado para la madera de *H. brasiletto* (51,54% a 66,20%), *D. granadillo* (49,24% - 50,66%) y *P. lasiocarpum* (53,26% - 55,26%) (Rutiaga *et al.*, 2010; Ávila y Rutiaga, 2014). Sin embargo, los valores de holocelulosa son menores a los encontrados por Honorato-Salazar, Colotl-Hernández, Apolinar-Hidalgo y Aburto. (2015), para la madera de *Ochroma pyramidale* (81,99%), *Ceiba pentandra* (79,08%) y *Hevea brasiliensis* (80,13%). McMillan (1997) indica que especies latifoliadas con contenidos de carbohidratos totales de 61,8% a 68,1% son viables para la producción de bioetanol.

En *Psidium guajava* se encontraron contenidos de α -celulosa de 4,12% a 6,21% en las hojas y de 19,78% a 24,57% en ramas, mientras que Sariyildiz y Anderson (2005) mencionan valores de α -celulosa en hojas de 25,4%-29,0% para *Fagus sylvatica*, de 16,7% a 19,3% para *Quercus robur* y de 16,9% a 19,5% para *Castanea sativa*. Con excepción *F. sylvatica*, los valores obtenidos son menores a los obtenidos en las ramas de *C. odorata*.

El contenido de α -celulosa en las ramas y el aserrín (36,93% - 43,40%) de *C. odorata*, están dentro de los valores encontrados de 33,95% a 39,85% para la madera de misma especie y para otras diez especies tropicales (34,0% - 45,7%) (Suzuki *et al.*, 2008), así como para los valores publicados por Honorato-Salazar *et al.* (2015), para *O. pyramidale* (40,30%), *C. pentandra* (41,29%) y *H. brasiliensis* (45,27%).

Las cantidades de hemicelulosas encontradas en las hojas de *C. odorata* son mayores a las obtenidas en hojas (22,4% a 27,9%), pero menores a las de las ramas (40,3% a 44,9%) de *P. guajava* (Camarena-Tello *et al.*, 2015).

En la madera, Suzuki *et al.* (2008), hallaron contenidos de hemicelulosas de 31,05% a 31,85%, para *C. odorata*, los cuales son menores a los obtenidos en las ramas, pero mayores a los de aserrín, mientras que para otras especies tropicales (27,7% a 35,2%) están dentro del

intervalo encontrado. Sin embargo, mayores cantidades de hemicelulosas, a los determinados en *C. odorata*, se han encontrado para *O. pyramidale* (41,67%) y *C. pentandra* (37,77%) (Honorato-Salazar *et al.*, 2015), pero *H. brasiliensis* (34,86%) presenta valores dentro del intervalo de los valores obtenidos.

El contenido de lignina en hojas obtenido en *C. odorata* es similar a lo encontrado por Camarena-Tello *et al.* (2015) en hojas (17,77% - 35,26%) y mayor a lo que estos autores señalan para las ramas (17,87% - 19,54%) de *P. guajava*. Menores contenidos de lignina a los obtenidos en este estudio fueron determinados por Sariyildiz y Anderson (2005) en hojas de *F. sylvatica* (17,4% - 20,6%), *Q. robur* (13,8% - 16,8%) y *C. sativa* (9,4% - 12,9%).

La cantidad de lignina determinada en la madera de ramas de *C. odorata* está dentro de los valores encontrados por Suzuki *et al.* (2008), para la madera de la misma especie (20,9% - 30,0%) y para otras especies tropicales (14,6% - 32,0%), así como dentro de los valores hallados para *H. brasiletton* (26,36%), *P. lasiocarpum* (25,24% - 25,95%), *D. granadillo* (26,24% - 27,24%), *O. pyramidale* (23,05%), *C. pentandra* (26,36%) y *H. brasiliensis* (19,81%).

Azúcares reductores

Aunque los porcentajes de azúcares reductores obtenidos en *C. odorata* son bajos, se debe considerar que se analizaron a partir de un hidrolizado con ácido sulfúrico diluido, que de acuerdo con Sun y Cheng (2002), no es el mejor proceso para hidrolizar carbohidratos a partir de materiales lignocelulósicos. Sin embargo, los porcentajes obtenidos son superiores a los publicados por Gómez, Ríos y Peña, (2013) para *Eucalyptus camaldulensis* (2,13%) y *Pinus patula* (1,9%), especies que consideran como viables para la producción de bioetanol.

Fenoles

El contenido de fenoles obtenidos en las hojas de *C. odorata* es menor a los valores encontrados por Silva, Souza, Rogez, Rees y Larondella (2007), para hojas de 11 especies tropicales (9,8 mg EAG/g a 10,2 mg EAG/g) y está den-

tro del intervalo de 54,7 mg EAG/g a 311,7 mg EAG/g encontrado por Ho, Tung, Chen, Zhao, Chung y Wu (2012), para 11 especies latifoliadas. Los valores menores obtenidos por Silva *et al.* (2007), pueden deberse a que son con base en el peso fresco de las hojas.

Para la madera de las ramas de *C. odorata*, la cantidad de fenoles es mucho mayor a lo obtenido para la madera de *Bauhinia forficata* (1,5 mg EAG/g), *Arrabidaea chica* 4,5 (mg EAG/g) *Broussonetia papyrifera* (56.94 mg EAG/g) (Silva *et al.*, 2007; Xu, Wang, Hu, Lee y Wang, 2010). La cantidad de fenoles, expresados en equivalentes de catequina (EC), es muy variable en la madera de duramen y albura del fuste de diversas especies tropicales, encontrándose valores de 71 mg EAG/g a 868 mg EC/g para especies de África (Huang, Hashida, Makino, Kawamura, Shimizu, Kondo y Ohara, 2009) y de 58 mg EAG/g a 540 mg EC/g para especies de Malasia (Kawamura, Shaharuddin, Sulaiman, Hashim y Ohara, 2010, Kawamura, Ramle, Sulaiman, Hashim y Ohara, 2011). Si bien, no son comparables los procedimientos de cuantificación de fenoles, los valores de fenoles obtenidos en este estudio se encuentran en el intervalo descrito para la madera de especies tropicales.

Flavonoides

Silva *et al.* (2007), encontraron cantidades de flavonoides de 0,06 mg EC/g a 11,71 mg EC/g para hojas para 11 especies y 0,12 mg EC/g para la madera de *Bauhinia forficata*, lo cual es mucho menor a lo obtenido en este estudio.

Capacidad inhibitoria de radicales libres

El tipo de solvente afecta el rendimiento de los extractos, obteniéndose mayores rendimientos con etanol. Se han encontrado rendimientos variables de extractos con metanol de 6,6% a 27,3% en hojas de especies arbóreas (Ho *et al.*, 2012) y de 1,56% a 21,21% en la madera de diversas especies (Suzuki *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2009; Kawamura *et al.*, 2010, 2011). Aun cuando los solventes son diferentes, los valores de rendimiento obtenidos en las hojas de *C. odorata* están dentro de los intervalos publicados, mientras que, en las ramas, los valores obtenidos con

etanol están en el intervalo inferior a lo encontrado en la madera con metanol.

El rendimiento obtenido en la madera de *C. odorata* es similar al mencionado por Rosales-Castro *et al.* (2012), para extractos con metanol 70% en albura (3,8%), duramen (5,0%) y corteza (6,5%) de *C. odorata*. Aunque los rendimientos en extractos de madera son bajos para la especie, se ha encontrado que extractos etanólicos de *C. odorata* reducen los niveles de hiperglicemia en ratones sin presentar toxicidad (Alana, Mamade, Donizeti, Tabajara, Olaitan, Costa, da Silva, Moleta, López, Pereira, de Franca, Balbinotti, y Honda, 2015), así como efecto hipocolesterolémico (Almonte-Flores, Paniagua-Castro, Escalona-Cardoso y Rosales-Castro, 2015), lo cual justifica su posible aplicación terapéutica.

Uno de los métodos más utilizados para determinar la actividad antioxidante es el ensayo para cuantificar la captación de radicales libres, utilizando el DPPH. Los extractos con metanol muestran una mejor inhibición del radical DPPH a CE_{50} en las hojas de especies latifoliadas (5,8 ppm -76,6 ppm) que las obtenidas en *C. odorata*, pero a su vez es mayor a 2,6 ppm del estándar (+)-catequina (Ho *et al.*, 2012). En la madera de diferentes especies, la inhibición de extractos metanólicos del radical DPPH a CE_{50} ha sido variable; por ejemplo, Suzuki *et al.* (2008), encontraron que los extractos del duramen de *Astronium lecointei* y *Hymenaea courbaril* tienen una inhibición respectiva de 50 ppm y 44 ppm, comparada con 48 ppm del estándar α -tocoferol, mientras que la albura y el duramen de otras especies presentan una inhibición de 66 ppm a más de 1000 ppm a CE_{50} . En especies tropicales de África, los extractos de la madera de *Cylicodiscus gabunensis* y *Terminalia ivorensis*, presentaron una inhibición de 1,4 ppm y 2,5 ppm, respectivamente, que es cercano al valor de 2,1 ppm del estándar (+)-catequina, las 20 especies restantes tuvieron valores de inhibición de 4,2 ppm a 72,1 ppm (Huang *et al.*, 2009). Por su parte, Kawamura *et al.* (2010), señalan que los extractos de la madera de *Myristica cinnamomea* mostraron una inhibición de 5,37 ppm y en el resto de las especies, la inhibición fue de 7,95 ppm a más de 30,0 ppm, en compa-



ración de 3,43 ppm de (+)-catequina. En otro estudio, Kawamura *et al.* (2011), indican que los extractos del duramen de *Mangifera indica* fue de 4,71 ppm, cercano a 4,0 ppm del estándar (+)-catequina, pero los extractos del duramen y de la albura de otras especies fue 6,0 ppm a más de 30,0 ppm. Lo anterior indica que los extractos obtenidos de hojas o madera de la mayoría de las especies latifoliadas no alcanzan una inhibición del radical DPPH a CE_{50} cercana a los estándares de referencia.

Análisis discriminante

Al análisis discriminante permitió distinguir que la concentración de las variables químicas es afectada por la localidad y el tipo de material, lo cual puede deberse a las condiciones de crecimiento de cada localidad. De acuerdo con Mariscal-Lucero, Rosales-Castro, Sánchez-Monsalvo y Honorato-Salazar (2015), en plantaciones experimentales de *C. odorata* de un año de edad, las concentraciones de fenoles, flavonoides y proantocianidinas son más elevadas en las hojas de individuos procedentes de Bacalar, que aquellos provenientes de Tezonapa, Veracruz. Esto puede atribuirse a que Bacalar tienen una precipitación anual de 1200 mm, suelo arcilloso, pedregoso y poco profundo, mientras que la precipitación anual en El Palmar es de 2888 mm, suelo migajón arcillo-arenoso y profundo, lo cual está relacionado con los resultados de Sariyildiz y Anderson (2005), quienes señalan que, en sitios de baja fertilidad, los contenidos de α -celulosa, lignina y azúcares en las hojas de *F. sylvatica* son mayores, pero menores en las hojas de *Q. robur* y *C. sativa*.

Asimismo, la variación de las diferentes concentraciones que se presentaron entre muestras individuales y procedencias del sitio de colecta, indican que se debe considerar la variabilidad inter e intraespecífica, por lo cual es necesario tomar muestras de varios individuos y de diferentes partes de un mismo individuo.

CONCLUSIONES

Las hojas de *C. odorata* contienen en promedio de 4 a 6 veces más concentración de extraíbles de diferente polaridad que la madera de las ramas. La edad afectó la canti-

dad de extraíbles en la madera de las ramas, la cual fue mayor con la edad para los extraíbles de etanol-tolueno y agua caliente, pero menor para los extraíbles de etanol.

Las concentraciones de polisacáridos y lignina en las hojas son menores a las de la madera, tanto de ramas como de aserrín, pero son similares a las de otras especies, por lo que podrían considerarse como lignocelulósicos viables para la producción de bioetanol, aunque los altos contenidos de extractos en las hojas podrían ser una desventaja en este uso.

Las hojas y la madera de las ramas de Bacalar presentan cantidades mayores de polisacáridos que las de El Palmar y que del aserrín; mientras que, en el contenido de lignina, el comportamiento es inverso.

La localidad tuvo un efecto significativo en la cantidad de fenoles de las hojas y de la madera de las ramas, siendo mayor en El Palmar que en Bacalar. La edad también afectó el contenido de fenoles, al haberse obtenido un mayor contenido en árboles de mayor edad, tanto en las hojas como en la madera de las ramas, para las dos localidades.

Mayores cantidades de flavonoides se determinaron en la madera de las ramas que en las hojas y a su vez, la cantidad fue más alta en la localidad de El Palmar que en la de Bacalar. El contenido de flavonoides también presentó una tendencia de aumentar con la edad, obteniéndose las mayores cantidades en árboles de mayor edad.

La inhibición del radical DPPH fue mayor en los extractos de etanol de la madera de ramas y de aserrín, pero no alcanzaron una inhibición cercana a los estándares de referencia (catequina y rutina). En los extractos de etanol y agua de las hojas, así como en los extractos acuosos de la madera de las ramas y del aserrín, la inhibición del radical DPPH fue mucho más baja.

Las concentraciones altas de fenoles y flavonoides y la capacidad inhibitoria de radicales libres de los extractos etanólicos de las ramas, indican que puede ser posible su aplicación biomédica.

RECONOCIMIENTOS

Ariana Berenice Santos-García agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y al Instituto

Politécnico Nacional (IPN) por el apoyo para realizar estudios de Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental, en CIIDIR-IPN Durango. Agradecemos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INI-FAP) por las facilidades prestadas para la realización de este trabajo, derivado del proyecto 2010-C01-134514, del Fondo Sectorial Conacyt-Conafor.

REFERENCIAS

- Alana, M. G., Mamade, T. C., Donizeti, S., Tabajara, D., Olaitan, S., Costa, I. G., da Silva, L., Moleta, A. E., López, R., Pereira, D. L., de Franca, S.A., Balbinotti, C.M. y Honda, N. (2015). Hydroethanolic extract of the inner stem bark of *Cedrela odorata* has low toxicity and reduces hyperglycemia induced by an overload of sucrose and glucose. *Journal of Ethnopharmacology*, 162, 352-361.
- Almonte-Flores D.C., Paniagua-Castro, N., Escalona-Cardoso, G. y Rosales-Castro, M. (2015). Pharmacological and genotoxic properties of polyphenolic extracts of *Cedrela odorata* L. and *Juglans regia* L. barks in rodents. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 8 pp. doi:10.1155/2015/187346.
- Arguelles, S. L. A. y C. Palafox B. (2008). Ordenamiento ecológico territorial del Sitio Experimental San Felipe Bacalar Othón P. Blanco Quintana Roo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 36 p.
- Arung, E. T., Wicaksono, B. D., Handoko, Y. A., Kusuma, I. W., Yulia, D. y Sandra, F. (2009). Anti-cancer properties of diethylether extract of wood from sukun (*Artocarpus altilis*) in human breast cancer (T47D) Cells. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 8 (4), 317-324.
- American Society for Testing and Materials. (1977). Method of Test for Alpha-Cellulose in Wood ASTM D1103 – 60. En *Annual book of ASTM standards. Part 22: Wood; Adhesives* (pp 346-348). Easton, Md., EUA: Autor, .
- American Society for Testing and Materials. (2010). Standard test methods for preparation of extractive-free wood. ASTM D 1105. En *Annual Book of ASTM standards. Volume 4.10 Wood* (pp176-177). West Conshohocken, PA., EUA: Autor.
- Ávila-Calderón, L. E. A. y Rutiaga-Quiñones, J. G. (2014). Componentes químicos de la madera y la corteza de *Hae-matoxylum brasiletto* Karsten (Leguminosae). *Madera y Bosques*, 20 (2), 153-158.
- Camarena-Tello, J. C., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F. y Pedraza-Bucio, F. E. (2015). Chemical composition of biomass generated in the guava tree pruning. *EXCLI Journal*, 14, 204-212.
- Chaplin, M. F. y Kennedy, J. F. (1994). *Carbohydrate analysis: A practical approach*. Nueva York, EUA: IRL Press.
- Comisión Nacional Forestal. (2015). *Principales especies maderables establecidas en PFC por Entidad Federativa en 2000–2014*. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?grupo=43&articulo=6019>.
- Díaz, A. S., Alessandrini D., M. y Herrera G., A. (2007). Comportamiento del follaje de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* y *Pinus tropicalis* en el desarrollo de una metodología para la obtención de cera conífera, pasta clorofila-caroteno y residuo forrajero a escala de banco. *Revista Cubana de Química*, 19 (1), 81-83.
- Effland, M. J. (1977). Modified procedure to determine acid-insoluble lignin in wood and pulp. *Tappi Journal*, 60 (10), 143-144.
- Fengel, D. y Wegener, G. (2003). *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Remagen, Alemania: Verlag Kessel.
- García, C. H., Martínez V., N., Quert Á., R., Guyat D., M. A., Acosta M., I. y Capote P., V. (2004). Caracterización de los extractos obtenidos a partir del follaje de *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* Barret y Golfari, y *Pinus tropicalis* Morelet. *Revista Forestal Baracoa*, 23 (2), 83-91.
- Gómez, E. A., Ríos, L. A. y Peña, J. D. (2013). Efecto del pretratamiento de biomasa maderera en el rendimiento a etanol. *Información tecnológica*, 24 (5), 113-122.
- Hnawia, E., Menut, C., Agrebi, A. y Cabalion, P. (2009). Wood essential oils of two endemic trees from New Caledonia: *Callitris sulcata* (Parl.) Schltr. and *Callitris neocaledonica* Dummer. *Biochemical Systematics and Ecology*, 36, 859–866.
- Ho, S., Tung, Y., Chen, Y., Zhao, Y., Chung, M. y Wu., J. (2012). Antioxidant activities and phytochemical study of



- leaf extracts from 18 indigenous tree species in Taiwan. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, 8 pp. doi:10.1155/2012/215959.
- Honorato-Salazar, J. A., Colotl-Hernández, G., Apolinar-Hidalgo, F. y Aburto, J. (2015). Principales componentes químicos de la madera de *Ceiba pentandra*, *Hevea brasiliensis* y *Ochroma pyramidale*. *Madera y Bosques*, 21K (2), 131-146.
- Huang, Z., Hashida, K., Makino, R., Kawamura, F., Shimizu, K., Kondo, R. y Ohara, S. (2009). Evaluation of biological activities of extracts from 22 African tropical wood species. *Journal of Wood Science*, 55, 225-229.
- Jacob, S., da Silva Perez, D., Dupont, C., Broust, F., Commandré, J.-M. y Sacco, D. (2014). Suitability of short rotation eucalyptus for thermochemical conversion. En *Proceedings of the 5th international conference on engineering for waste and biomass valorisation*, CD-ROM, paper 230. Rio de Janeiro (Brazil) 25-28 August 2014.
- Jacob, S., Da Silva Perez, D., Dupont, C., Commandré, J.-M., Broust, F., Carriau, A. y Sacco, D. (2013). Short rotation forestry feedstock: Influence of particle size segregation on biomass properties. *Fuel*, 111, 820-828.
- Kawamura, F., Ramle, S. F. M., Sulaiman, O., Hashim, R. y Ohara, S. (2011). Antioxidant and antifungal activities of extracts from 15 selected hardwood species of Malaysian timber. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69 (2), 207-212.
- Kawamura, F., Shaharuddin, N. A., Sulaiman, O., Hashim, R. y Ohara, S. (2010). Evaluation on antioxidant activity, antifungal activity and total phenols of 11 selected commercial Malaysian timber species. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 44 (3), 319-324.
- Khan, L. H., Varshney, V. K. y Naithani, S. (2014). Utilization of biomass residue (leaves) generated from *Populus deltoides* plantations for development of protein concentrate. *Waste and Biomass Valorization*, 5 (6), 995-1004.
- Lattanzio V., Kroon, P. A., Quideau, S. y Treutter, D. (2008). Plant phenolics-secondary metabolites with diverse functions. En F. Daayf y V. Lattanzio (Eds.), *Recent Advances in Polyphenol Research* (pp.1-35), Vol. 1. Blackwell Publishing Ltd.
- Mariscal-Lucero, S. R., Rosales-Castro, M., Sánchez-Monsalvo, V. y Honorato-Salazar, J. A. (2015). Evaluación de fenoles y limonoides en hojas de *Cedrela odorata* (Meliaceae) de una plantación experimental establecida en Tezonapa Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 63 (2), 545-558.
- Martínez-Vento, N., Estrada-Ortiz, J., Góngora-Rojas, F., López-Castilla, R., Martínez-González, L. y Curbelo-Gómez, S. (2010). Bioplaguicida de *Azadirachta indica* A. Juss (Nim) y la poda, una alternativa para el control de *Hypsipyla grandella* Zeller en plantaciones de *Cedrela odorata* L. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 16 (1), 61-68.
- McMillan, J. (1997). Bioethanol production: status and prospects. *Renewable Energy*, 10 (2,3), 295-302.
- Montgomery D. C. y Runger, G. C. (2014). *Applied statistics and probability for engineers* (6a ed). Nueva York, EUA: John Wiley & Sons, Inc. 832 p.
- Philippov, S. V. y Bogorodov, I. M. (2013). Method of using wood extracts in cosmetic and hygiene products. U.S., 20,130,295,036, A1. (Cl.424/74; 424/770), 07 Nov 2013. Appl. US 13/464,983, 05 May 2012. 10 p.
- Rencher, A. C. (2002). *Methods of multivariate analysis* (2a ed). Nueva York, EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Rodríguez, M. R., Suárez V., B., Diñeiro G., Y., del Valle A., P. y Picinelli L., A. (2010). Alternative woods for aging distillates-an insight into their phenolic profiles and antioxidant activities. *Food Science and Biotechnology*, 19 (4), 1129-1134.
- Rosales-Castro, M., Pérez-López, M. E. y Ponce-Rodríguez, M.C. (2006). Propiedades antirradicales libres y antibacterianas de extractos de corteza de pino. *Madera y Bosques*, 12 (1), 37-49.
- Rosales-Castro, M., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Peralta-Cruz, J. y Karchesy, J. J. (2009). Evaluación química y capacidad antioxidante de extractos polifenólicos de cortezas de *Pinus cooperi*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. teocote*. *Madera y Bosques*, 15 (3), 87-105.
- Rosales-Castro, M., Honorato-Salazar, J. A. y Sánchez-Monsalvo, V. (2012). Concentración de polifenoles en albura,

- duramen y corteza de *Cedrela odorata* (cedro rojo). Memorias del VII International Congress of Biochemical Engineering. Colegio Mexicano de Ingenieros Bioquímicos, Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero.
- Rowell, R. M., Pettersen, R., Han, J. S., Rowell, J. S. y Tshabalala, M. A. (2005). Cell Wall Chemistry. En R. M. Rowell (Ed.), *Handbook of wood chemistry and wood composites* (pp. 35-74). Boca Raton, Florida, EUA: CRC Press.
- Rutiaga Q., J. G., Pedraza-Bucio, F. E. y López-Albarrán, P. (2010). Componentes químicos principales de la madera de *Dalbergia granadillo* Pittier y de *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16 (2), 179-186.
- Sánchez, M. V., Salazar, J. G., Hernández, V. J., López, J. y Jasso, M. J. (2003). Parámetros genéticos y respuesta a la selección en características del crecimiento de *Cedrela odorata*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26 (1), 19-27.
- Sariyildiz, T. y Anderson, J. M. (2005). Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types. *Forest Ecology and Management*, 210, 303-319.
- SAS Institute Inc. (SAS). 2000. SAS for windows (Version 9.2 para Windows). Cary, NC. EUA.
- Silva, E. M., Souza, J. N. S., Rogez, H., Rees, J. F. y Larondella, Y. (2006). Antioxidant activities and polyphenolic contents of fifteen selected plant species from the Amazonian region. *Food Chemistry*, 101 (3), 1012-1018.
- Stewart, D. (2008). Lignin as a base material for materials applications: Chemistry, application and economics. *Industrial Crops and Products*, 27, 202-207.
- Sun Y. y Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review *Bioresource Technology*, 83, 1-11.
- Suzuki, R., Matsushita, Y., Imai, T., Sakurai, M., Henriques de Jesus, J. M., Ozaki, S. K., Finger, Z. y Fukushima, K. (2008). Characterization and antioxidant activity of Amazonian woods. *Journal of Wood Science*, 54, 174-178.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal. Volumen 1*. Castellón de la Plana: Universitat Jaume.
- Tascioglu, C., Yalcin, M., de Troya, T. y Sivrikaya, H. (2012). Termicidal properties of some wood and bark extracts used as wood preservatives. *BioResources*, 7 (3), 2960-2969.
- Wetzel, S., Duchesne, L. C. y Laporte, M. F. (2006). *Bioproducts from Canada's forests. New Partnerships in the Bioeconomy*. Dordrecht, Países Bajos: Springer. 257 p.
- Xu, M., Wang, L., Hu, J., Lee S. y Wang, M. (2010). Antioxidant activities and related polyphenolic constituents of the methanol extract fractions from *Broussonetia papyrifera* stem bark and wood. *Food Science and Biotechnology*, 19 (3), 677-682.

Manuscrito recibido el 22 de julio de 2015.

Aceptado el 12 de mayo de 2016.

Este documento se debe citar como:

Rosales-Castro, M., Honorato-Salazar, A., Santos-García, A. B., Pérez-López, M. E., Colotl-Hernández, G. y Sánchez-Monsalvo, V. (2016). Composición química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. de dos plantaciones forestales como fuente de materia prima lignocelulósica. *Madera y Bosques*, 22 (2), 131-146.