

Características anatómicas y algunas propiedades físicas de la madera de *Cedrela odorata* L. del Centro Multipropósito de la Universidad Tecnológica del Chocó

Microscopic anatomical characteristics and some physical properties of the wood of *Cedrela odorata* L. of the Centro Multipropósito y Experimental of the Universidad Tecnológica del Chocó

Yessika Biasney Serna-Mosquera, MSc¹, Amparo Borja de la Rosa, PhD²

Resumen

Objetivo: Describir las características anatómicas microscópicas y algunas propiedades físicas como densidad básica y poder calorífico de la madera de cedro, con el propósito de aportar al conocimiento de la tecnología de la especie y los usos posibles en la transformación de la misma, para dar un mayor valor agregado a las trozas de madera en bruto que se comercializan en el departamento del Chocó.

Materiales y métodos: Las virutas se colectaron mediante método no destructivo con taladro de Pressler de doce milímetros, en el Centro Multipropósito y Experimental de la Universidad Tecnológica del Chocó (CMUTCH), en el municipio de Lloró. En laboratorio, se realizó una descripción microscópica anatómica en la que se determinaron elementos de vasos, porosidad, parénquima axial y radial, radios y fibras. También se determinó la actitud para la producción de pulpa para papel y valoró la densidad básica y el poder calorífico.

Resultados: La madera presenta de 2-8 vasos/mm², porosidad circular, parénquima difuso, marginal en bandas y paratraqueal vasicéntrico, radios homocelulares o compuestos por varias células o heterocelulares, las fibras son libriformes, medianas, extremadamente anchas y de paredes gruesas; presenta regular calidad para producción de pulpa para papel, según la relación de Runkel (1.09); la madera es ligera con promedio de 39 g/cm³ de densidad básica, puede presentar altos rendimientos para generación de energía, pues su poder calorífico promedio es de 4.542 cal/g.

Conclusiones: La madera presenta cualidades aceptables que la hacen apetecible para una variedad de usos teniendo un adecuado manejo para las piezas en servicio, considerando las condiciones ambientales del Chocó.

Palabras clave: Características microscópicas; Densidad básica; Poder calorífico; *Cedrela odorata*; Chocó.

Abstract

Objective: Describe the microscopic anatomical features and some physical properties such as basic density and calorific value of Cedro wood, with the aim to know the technology of the specie and its possible uses in the transformation industry. In addition this papers aims to give extra-value to the logs of timber sold in the department of Chocó.

Materials and Methods: The chips were collected by non-destructive method with Pressler drill twelve millimeters in the Multipurpose Center and Experimental of the Universidad Tecnológica del Chocó (CMUTCH), in the municipality of Lloró. In the laboratory, we conducted a microscopic anatomical description which identified vessel elements, porosity, axial and radial parenchyma, radios and fiber. Also, the attitude to produce paper pulp and calorific value were measured.

Results: The wood has 2-8 vessels per mm², porosity circular, diffuse, marginal bands and paratrachealvasicentric parenchyma, radios homocellular or composed of several cells or heterocellular, the fibers are tissue, medium, extremely wide and thick-walled; the wood has regular quality paper pulp production according to Runkel ratio (1.09); the wood is light with an average basic density of 39 g/cm³, may present high yields for generation of energy as an average calorific value is of 4.542 cal/g.

Conclusions: The wood has qualities that make it acceptable for a variety of applications always considering its proper management, taking account the environmental conditions of Chocó.

Keywords: Microscopic features; Basic density; Calorific value; *Cedrela odorata*; Chocó.

¹ Docente Investigadora, Programa de Ingeniería Agroforestal. Grupo de Investigación de Sistemas Productivos, Universidad Tecnológica del Chocó «Diego Luis Córdoba», Quibdó, Colombia. e-mail: yebisemo@hotmail.com

² Docente Investigadora, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. e-mail: aborja@correo.chapingo.mx

Fecha de recibido: Septiembre 21, 2011

Fecha de aprobación: Diciembre 5, 2011

Introducción

Actualmente se conocen más de 100,000 especies vegetales lignificadas a nivel mundial, sin embargo, se estima que solo alrededor de unas 500 poseen valor en el mercado internacional como especies maderables. La mayor parte de la madera proveniente de estas especies es procesada y/o consumida en países distantes de aquellos de donde las especies son nativas (CITES 1999).

Cerca de 55 millones de hectáreas del territorio (48.71% del territorio nacional) están cubiertas por bosques nativos y alrededor del 34% de la superficie nacional se encuentra en áreas dominadas por agroecosistemas. Aunque los patrones y procesos de transformación difieren entre las regiones del país, los bosques nativos se han reducido en los últimos años (1994-2001) a una tasa anual del 0.18% (promedio nacional), correspondiente a unas 101,303 ha, por causas asociadas a los procesos de ocupación del territorio, la expansión de la frontera agrícola, el uso de leña, explotación maderera y la ocurrencia de incendios forestales. Estas circunstancias, han ocasionado que muchas de las poblaciones silvestres de especies maderables finas, se hayan reducido dramáticamente, lo que amenaza su conservación local y nacional, y que sus poblaciones naturales se hayan reducido, en muchos casos, a paisajes fragmentados y predios privados (Cárdenas *et al.* 2011).

Durante la Quinta Reunión del Cuadro de Expertos de la FAO en Recursos Genéticos Forestales celebrada en 1981, *Cedrela odorata* fue incluida en la lista de especies de prioridad (FAO 1984), razón por la cual la conservación, estudios de la variabilidad genética, y propagación y uso sostenible de esta especie cobra especial importancia, aspectos que ya habían sido señalados por Pennington (1968) y Lamb (1969) al plantear a fines de la década de los sesenta que

esta especie tiene una madera de gran valor en el mercado y que existe una creciente escasez por su excesivo consumo.

No obstante, CITES (2010) señala que en Ecuador se está analizando la posibilidad de limitar la vigencia de prohibición del aprovechamiento de caoba y cedro, únicamente a la *Swietenia macrophylla*; estudios preliminares y referencias de botánicos y de dendrólogos especialistas en Meliaceae, han determinado que el estado de las poblaciones de *Cedrela odorata*, aún son viables de manejo forestal que permitan su sostenibilidad; la aplicación de la veda evidenció debilidades en el control forestal que tiene que sortear una frontera demasiado permeable en la que las vías fluviales son la opción más elocuente para el tráfico ilegal. Adicionalmente en Ecuador se han registrado cuatro especies de cedro, lo que dificulta los controles de productos forestales que provienen de estas especies.

Justamente, *Cedrela odorata* L., es una de las más valiosas especies maderables de la flora colombiana, se distribuye geográficamente en las Antillas y en México, y también forma parte de la flora de América Central y del norte de América del Sur, incluida Colombia (Betancourt 1987).

El departamento del Chocó con sus 47,840 km², constituye una importante despensa de recursos naturales para las generaciones presentes y futuras; por tanto, en los últimos años se han orientado esfuerzos al conocimiento de la flora de la región. Se calcula para la región un total de 8000 especies de plantas (Forero y Gentry 1989), que se están documentando en diferentes herbarios del mundo, incluido el herbario CHOCÓ. Sin embargo, algunas especies como el cedro (*Cedrela odorata*) entre muchas otras, están amenazadas por sobre explotación sin que se haya avanzado en estudios profundos sobre todas sus propiedades.

El cedro es primordialmente una especie maderable. Su madera se emplea como aromatizante; es blanda, liviana, fuerte, duradera y fácil de trabajar, por lo que se prefiere para muebles finos, puertas, ventanas, gabinetes, decoración de interiores, carpintería en general, cajas de puros, cubiertas y forros de embarcaciones, alambrines, parquet, triplay, chapa, ebanistería en general, postes, embalajes y aparatos de precisión, entre otros (Torres y Solís 2004).

También, se usa su madera como combustible o leña y como materia prima de construcción en el medio rural. Es útil para fabricar implementos de trabajo y agrícolas. Tanto la madera como los frutos tienen importancia artesanal para la elaboración de artículos torneados y esculturas. El fruto seco, tiene un alto potencial artesanal; de acuerdo con la creatividad de quien lo trabaja, se pueden hacer instrumentos musicales, arreglos florales, cortinas y varias cosas más (Torres y Solís 2004).

Dentro de este contexto, en esta investigación se describen algunos caracteres tecnológicos de la madera del cedro, con el objetivo de aportar al conocimiento técnico y científico de la madera de la especie en la zona y sobre las potencialidades que esta representa para el departamento del Chocó, porque no se ha explorado el acervo de usos posibles que presenta, por el desconocimiento científico-técnico y la falta de infraestructura para dar valor agregado, de tal modo, que es habitual comercializar la madera en forma de trozas; desde este punto de vista, se cree que se podría bajar la presión al bosque natural y cultivado, que ocurre por la sobre explotación de trozas para exportar a otros sitios del país, donde se genera el valor agregado y los mayores rendimientos, incluidos los rendimientos monetarios.

Materiales y métodos

Área de estudio. Las muestras se obtuvieron en

las instalaciones del Centro Multipropósito de la Universidad Tecnológica del Chocó «Diego Luis Córdoba» (CMUTCH) en el municipio de Lloró, departamento del Chocó, Colombia, que se encuentra ubicado sobre la margen derecha del río Atrato aguas abajo, a unos 10 minutos de la cabecera municipal de Lloró. Geográficamente está a 5°30'37" de latitud norte y 76°33'15" de longitud oeste (Figura 1), con una temperatura promedio anual de 28°C y una precipitación promedio que alcanza hasta los 13,300 mm por año, es la zona más lluviosa del planeta (Neita *et al.* 2004).

Métodos

Colecta del material de estudio. Se colectaron virutas (gusanitos) de la madera de cedro, una viruta de cada individuo, empleando un taladro de Pressler de doce milímetros, a la altura del diámetro normal (1.30 m) (Tabla 1). Los árboles colectados presentaban buen estado físico y sanitario y se colectaron a medida que fueron apareciendo entre los sistemas agroforestales. Se colectaron de los relictos de una población de varios sistemas productivos establecidos en el CMUTCH de aproximadamente diez años de edad de la especie que se estaba comercializando en aquellos días, pero a la que no se le realizó manejo silvicultural importante. La regeneración natural de dichos árboles se utiliza para realizar enriquecimiento de los sistemas agroforestales del CMUTCH; los mismos, en algunas ocasiones tributan como poblaciones adyacentes de otras especies en los diversos sistemas y/o en mezclas con estas, como son: *Apeiba aspera* Aubl., *Alibertia patinoi* Cuatrec. Delprete & C.H. Perss., *Inga edulis* Mart., *Musa* sp, entre otras especies.

Preparación de muestras. Las muestras se introdujeron en recipientes con agua, cambiando esta diariamente hasta su procesamiento en laboratorio. Ya en el laboratorio de anatomía de la

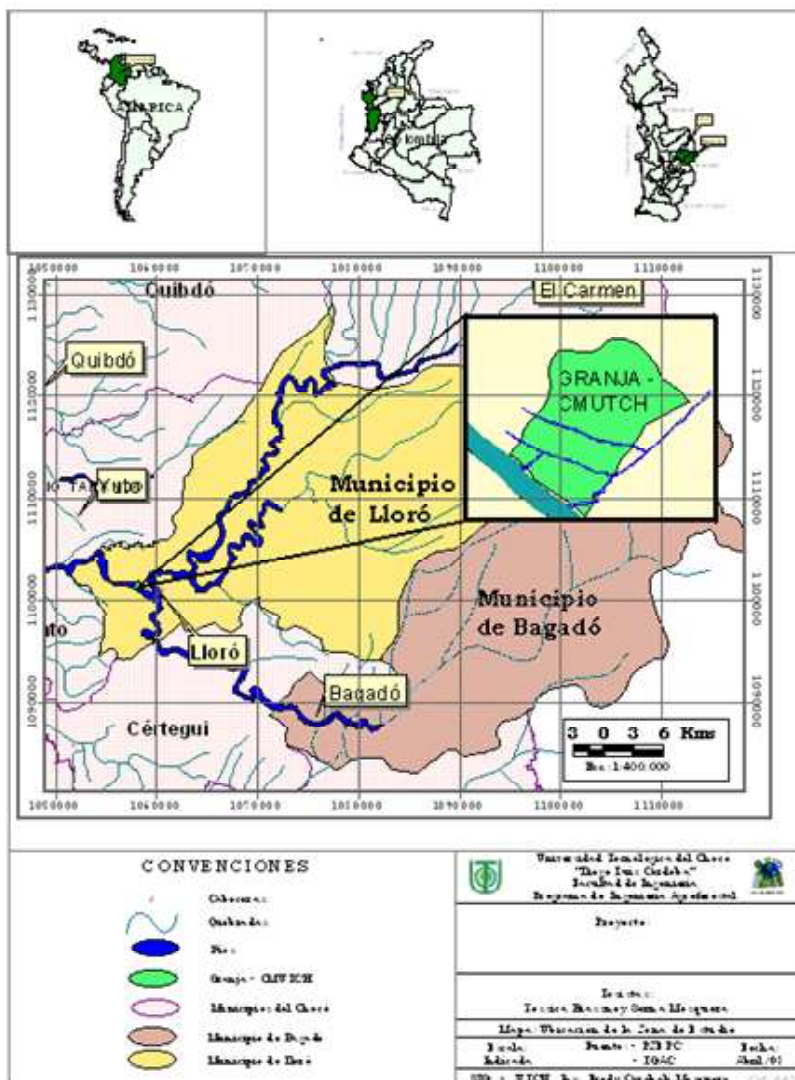


Figura 1. Ubicación del Centro Experimental «CMUTCH» de la Universidad Tecnológica del Chocó, en el municipio de Lloró.

Tabla 1. Características dendrométricas de los árboles de *Cedrela odorata* L, colectados para la investigación

Árbol N°	DAP (cm)	Altura del fuste (m)	Altura total (m)
1	28	10	20
2	32	10	15
3	23	11	16
4	24	8	15
5	30	7	13
6	31	9	16
7	40	9	15
8	47	7	15
9	19	6	14

madera de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, se escogieron cinco cilindros de la madera y se seccionaron a cada centímetro y cada centímetro se dividió a la mitad desde la médula hasta la corteza (se obtuvieron probetas) para determinar en una mitad la densidad básica y la otra mitad para disociarlo. También se seccionó un cilindro a cada dos centímetros desde la médula hasta la corteza para realizar cortes típicos (transversal, tangencial y radial). De igual modo se obtuvieron probetas de tres cilindros para obtener el poder calorífico de la madera.

Estudio anatómico. Para el estudio anatómico microscópico, se seccionó la viruta (gusanito) de madera a cada dos centímetros desde la médula hasta la corteza para obtener las probetas que se usaron en la realización de los cortes típicos histológicos. Las probetas se ablandaron (secciones de 2 cm) en un digestor a una presión de 0.5 kg/cm² durante 30 segundos y una vez ablandadas, se colocaron en una solución de glicerina y alcohol, y posteriormente, se obtuvieron cortes transversales, radiales y tangenciales de 20 µm de espesor (ASTM, 2005a. con variaciones sugeridas por los expertos del laboratorio de Anatomía de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, México), usando un micrótopo de deslizamiento (marca Jung).

Los cortes se tiñeron con Pardo Bismarck, y posteriormente, se montaron en portaobjetos con bálsamo de Canadá, disuelto en xilol. Se obtuvieron fotografías digitales con un microscopio (Olympus con el software Motic Image), en el que se describieron los elementos vasculares, porosidad, parénquima, radios y presencia de extractivos.

De igual modo, las probetas destinadas para reducir a astilla y disociar, se depositaron en frascos de vidrio y se les adicionó ácido acético y

peróxido de hidrógeno en partes iguales, se aforaron y se sellaron para proceder a deshidratarlos en una estufa a 70°C durante 48 horas hasta que se desintegraran las células. Posteriormente, se lavaron con abundante agua hasta eliminar los residuos de la solución y se procedió al montaje temporal en portaobjeto de las células disociadas (elementos de vasos y fibras), en los que se describieron las longitudes de las fibras, el diámetro total, diámetro del lumen, diámetro de la pared celular en las fibras, y el diámetro radial y tangencial de los vasos.

Densidad básica. En la mitad de las probetas que quedaron de las virutas sin disociar se calculó la densidad básica; para calcularla, en cada probeta se registró el peso y volumen en estado saturado en una balanza analítica marca OHAUS con precisión a diezmilésima (0.0001 g) y después el peso en estado anhidro. Para obtener este peso en estado anhidro, las muestras se introdujeron en un horno a 103° ±2, durante un tiempo de 24 horas, después se pesaron y se volvieron a poner en el horno, luego se pesaron nuevamente y se repitió esta operación hasta que el peso se estabilizó o marcó constante.

La densidad básica se determinó usando la siguiente Ec. (1) para muestras pequeñas (Smith 1954):

$$D_b = \frac{1}{\frac{P_h}{P_o} - 0.346}$$

donde:

- D_b : densidad básica
- P_o : peso anhidro
- P_h : Peso húmedo
- 0.346: Constante

Poder calorífico. En tres cilindros de la madera de cedro, se cortaron tres muestras en la parte de

la médula, tres en la parte intermedia y tres muestras hacia la parte de la corteza en posición radial del árbol; cada una de estas, con un centímetro de espesor. Después, las muestras se secaron y pesaron, y cada muestra debió tener un peso menor de 1 g (especificaciones del manual de la bomba calorimétrica para poder realizar la combustión). Para esta prueba se utilizó una bomba calorimétrica de oxígeno T-Parr-1341 con la técnica dada por Allen *et al.* (1974).

Considerando que en el proceso de combustión de la madera interrelacionan otros factores o elementos diferentes a la sustancia madera y que la combustión en la bomba toma lugar en una atmósfera casi de oxígeno puro a presiones y temperaturas altas, se dan varias reacciones, que no se darían en condiciones atmosféricas normales. Estas reacciones incidentales son importantes por la generación de una cantidad significativa de calor que no puede ser acreditada a la muestra y por lo tanto deben hacerse correcciones para obtener resultados más confiables en el proceso de combustión como la corrección ácida (por formación de ácido nítrico) que consistió en transferir una alícuota de 50 ml en un vaso de precipitado, se agregaron cuatro gotas de colorante de rojo de metilo al 0.1%; al resultar positiva esta prueba, se tituló con carbonato de sodio (Na CO_2) al 0.0709 N, el resultado de la corrección fue el número de milímetros de la solución empleada. Seguidamente, se procedió a calcular el calor de combustión bruto (Allen *et al.* 1974) con la Ec. 2:

$$H_g = \frac{(t * w) - e_1 - e_2}{m}$$

donde:

- H_g = calor bruto de combustión
- t = diferencia de temperaturas
- w = equivalente energético del calorímetro (2481.25 Calorías.)
- e_1 = corrección en calorías por formación de

ácido nítrico (HNO_3). Igual a los milímetros de carbonato de sodio que se usaron en la titulación, si la normalidad es de 0.0709.

e_2 = corrección en calorías por el calor de combustión del alambre fusible quemado, si es PARR 45C10 de níquel o cromo se utiliza la constante (2.3 * cm de alambre quemado).

m = masa de la muestra en gramos (g).

Análisis de datos. Para la medición de los elementos constitutivos obtenidos del disociado se realizó un muestreo y se determinó el tamaño de la muestra usando la Ec. 3:

$$n = \frac{t^2 * c^2}{d^2}$$

donde:

- n : tamaño de la muestra
- t : valor de la T-student al 95% de confianza
- c : coeficiente de variación (cv)
- d : diferencia entre el valor real y el estimado.

Para el análisis de los caracteres anatómicos microscópicos, se determinaron las medias, la desviación estándar, los valores mínimos y máximos para tener un referente de cuánta variación hubo entre las características estudiadas.

Resultados

Estudio anatómico

Poros. Los poros se presentan solitarios y ocasionalmente múltiples (Figura 2), poros poco numerosos, promedio de 4 por mm^2 , con punteaduras intervasculares alternas y con placa perforada simple. Los elementos vasculares oscilan entre 2-8 por mm^2 . Depósitos de goma presentes. El diámetro promedio tangencial de vasos fue de 168 μm y el diámetro promedio radial fue de 144 μm . Elementos de vasos con una longitud promedio de 466 μm ; un valor mínimo de 345 μm y máximo de 535 μm (10x) (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los elementos celulares de la madera de *Cedrela odorata* L.

Promedio característica considerada	Elementos celulares									
	Vasos			Fibras				Radios		
	N°/mm ²	Diámetro		Longitud	Diámetro total	Diámetro de lumen	Grosor de la pared celular	Diámetro		Finos
	Tangencial	Radial	Medianas	Medianas	Extremadamente ancho	Gruesa	Tangencial	Radial		
Magnitud (µm)	4.00	167.89	143.88	466.18	1,208.78	22.83	12.45	322.73	41.75	
Clasificación	Poco numerosos	Medianos	Medianos	Medianos	Medianas	Extremadamente ancho	Gruesa	Medianos	Finos	

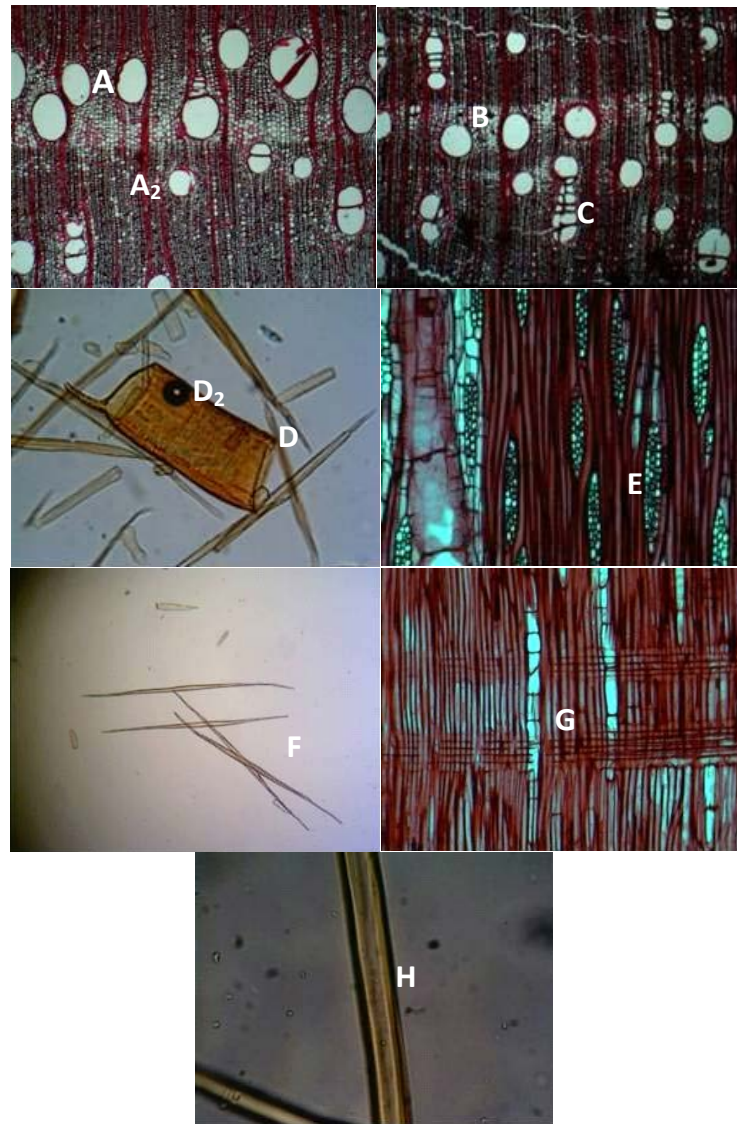


Figura 2. (A) Vaso circular solitario, (A₂) Parénquima vacicéntrico, (B) Parénquima marginal en bandas, (C) Vasos múltiples, (D) Elemento de vaso, (D₂) goma en vaso, (E) Radios heterocelulares, 3-4 células, Fibras libriformes, (F) Fibras medianas, (G) Rayo homocelular, (H) Ancho de pared celular y de lumen de fibra de *C. odorata*.

Parénquima. El parénquima axial, se presenta difuso, marginal en bandas y paratraqueal vasicéntrico. El parénquima radial es de clase triseriado (Figura 2).

Radios. Los radios en la dirección tangencial presentan un valor promedio de 323 µm (alto) y en la dirección radial un promedio de 42 µm (ancho). Radios de 1-4 células, con un promedio de tres células de ancho. Radios de tipo homocelular, o compuestos por dos o más tipos de células o heterocelular (Figura 2).

Tabla 3. Estadísticos de los valores longitudinales y diametrales de las fibras de la madera de *Cedrela odorata* L

Valores	Longitud de las fibras (μm)	Diámetro del lumen (μm)	Diámetro de fibra (μm)	Grosor de pared celular (μm)
Máximo	1,419.51	28.42	40.29	16.24
Promedio	1,208.77	22.78	35.28	12.45
Mínimo	631.56	17.07	27.42	9.50
Desviación estándar	136.92	2.77	2.59	1.50

Tabla 4. Índice de calidad de pulpa para papel de la madera de *Cedrela odorata* L

Índice	Valor	Clasificación
Coefficiente de rigidez (CR)	0.71	Muy gruesa
Coefficiente de flexibilidad (CF)	0.65	Media
Coefficiente de Peteri o índice de esbeltez (IE)	52.94	No reportada
Relación de Runkel (RR)	1.09	Regular para papel

Larios (1979)

Tabla 5. Densidad básica de la madera de *Cedrela odorata* L

Valores	Zona médula (g/cm^3)	Zona centro (g/cm^3)	Zona corteza (g/cm^3)
Máximo	0.39	0.42	0.43
Promedio	0.37	0.40	0.38
Mínimo	0.36	0.38	0.35
Desviación estándar	0.014	0.014	0.028

Fibras. Las fibras son de tipo libriforme, con una longitud promedio de 1.209 μm (4x), un diámetro promedio de lumen de 23 μm , diámetro total de 35 μm y grosor de la pared celular de 12 μm . fibras de mediana longitud, paredes celulares gruesas (12.45 μm), y lumen extremadamente ancho (22.83 μm) (Tabla 3).

Contenidos. En cuanto a los contenidos celulares, esta especie y en este estudio, presenta pequeñas cantidades de gomas en los vasos; gomas en el parénquima axial, gomas, cristales y aceites en el parénquima radial e igualmente en las fibras (Figura 2).

Índices de calidad para producción de pulpa.

Los índices de calidad para producción de pulpa de la madera de *C. odorata* se presentan en la Tabla 4. La madera de cedro presentó, según la relación de Runkel, una regular calidad de pulpa para producir papel. Se tomó la relación de Runkel como el indicador de la calidad para producción de pulpa (Relación de Runkel 1.09).

Densidad básica de la madera. La densidad básica registró un promedio de 0.39 g/cm^3 , variando entre 0.30 y 0.45 g/cm^3 . En la Tabla 5, se muestra la densidad básica de la madera en tres posiciones (zonas) en sentido radial (médula,

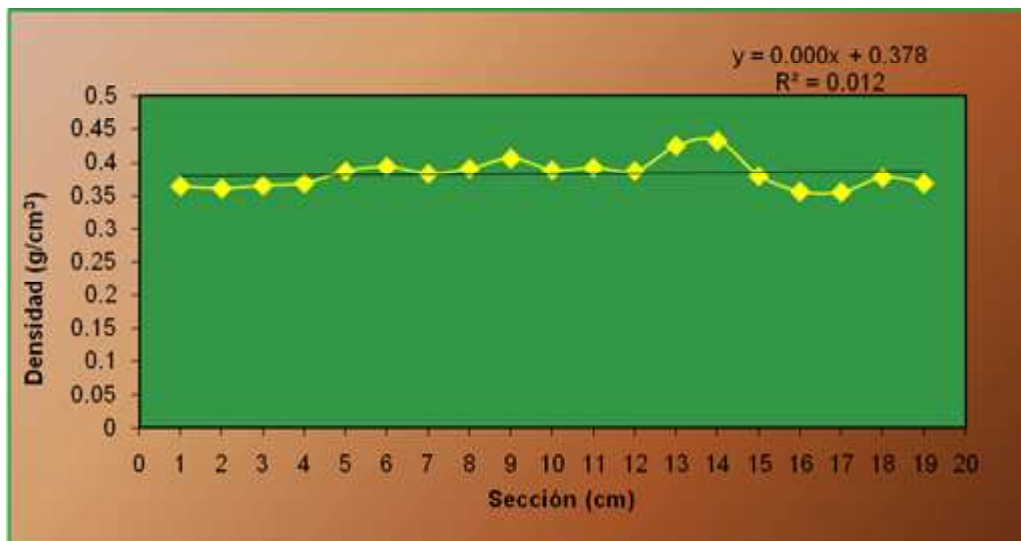


Figura 3. Variación de la densidad básica de la madera de *Cedrela odorata* L.

centro y corteza). Observando el comportamiento de la densidad a lo largo de la dimensión en sentido radial, y dejando de un lado, la separación por zonas (zona médula, centro y corteza), esta se presenta más alta en el centro y ligeramente más baja en la zona de la médula (Figura 3).

Poder calorífico de la madera. El poder calorífico se presenta ligeramente más bajo en la parte intermedia, en relación con la parte de la médula con 4.494 y 4.515 cal/g, respectivamente; el valor más alto lo presenta la parte de la corteza con 4.614 cal/g. La madera presentó un poder calorífico promedio de las tres zonas radiales estudiadas de 4.542 cal/g.

Discusión

Poros. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios y múltiples radiales promedio de 5 poros por mm², diámetro tangencial 164-249 μm (León, 2003). También, León *et al.* (2001), reportó un número de 1 a 3 poros por mm², y describe que el cedro presenta poros circulares, solitarios y múltiples coincidiendo con lo encontrado en este estudio.

Parénquima. En el caso del parénquima axial,

se presenta difuso, marginal en bandas y paratraqueal vasicéntrico. León *et al.* (2001), reportó para la especie un parénquima apotraqueal difuso, difuso en agregados, paratraqueal vasicéntrico delgado, aliforme de ala corta, y en bandas marginales (CITES 2008), coincidiendo en esta clasificación, excepto por el parénquima apotraqueal difuso en agregados y aliforme de ala corta, que no se encontró en este estudio.

Radios. Los radios presentaron una longitud ascendente en la distancia desde la médula hacia la corteza; en cuanto a la altura se refiere, muestra una tendencia definida ascendente. Radios de tipo homocelular o heterocelular (Figura 2), coincidiendo esta característica microscópica con Richter *et al.* (2000), que reportó radios compuestos por un solo tipo de células (homocelulares) o compuestos por dos o más tipos de células (heterocelulares). El mismo, reportó para cedro, radios con una a cuatro células de ancho y altura de los radios grandes, hasta 500 μm.

Fibras. Fibras de tipo libriforme, con clasificación de longitud mediana, diámetro de lumen extremadamente ancho y pared celular clasificada como gruesa; al contrario, León (2009), reportó paredes de las fibras como delgadas a medianas.

Richter *et al.* (2000), reportó una longitud promedio de fibras de 1.050 μm contrastando con este estudio.

Contenidos celulares. En cuanto a los contenidos celulares, esta especie y en este estudio, presenta pequeñas cantidades de gomas en los vasos (CITES 2008); gomas en el parénquima axial, gomas y aceites en el parénquima radial e igualmente en las fibras. Cristales prismáticos en células parenquimáticas radiales y, ocasionalmente, en las axiales, algunas veces formando series parenquimáticas cristalíferas (León 2003), conductos gomíferos traumáticos presentes.

Índice de producción de pulpa. La madera de cedro según la relación de Runkel, presentó una regular calidad de pulpa para papel (Carpio 1992). Esta relación de Runkel es una de las características importantes, tomada como un referente de la calidad para la producción de pulpa para papel de una madera.

Tamarit (1996), registró una relación de Runkel de 0.57, el autor relacionó la calidad con la densidad básica y observó en las maderas que estudio, que cuando presentaron valor de densidad básica bajos e intermedios, estos resultados estuvieron asociados a las mejores calidades (excelentes, muy buenas y buenas).

En el caso de la madera de cedro, esta presentó una densidad básica intermedia pero con fibras de paredes gruesas y valores altos en la relación de Runkel, lo que originaría una regular calidad para pulpa papel, coincidiendo con lo reportado por Amidon (1981), Luna (1983), Casey (1990) y Tamarit (1996), que afirman que la densidad básica de la madera está fuertemente relacionada en forma inversamente proporcional con la calidad de la pulpa, en donde a menor densidad básica, la calidad de pulpa es mayor, lo que se puede relacionar con lo encontrado en este estudio, por lo tanto se determinó como de regular

calidad para producción de pulpa.

Densidad de la madera. La densidad básica de la madera de *C. odorata* en este estudio, se clasifica como madera liviana (Vignote 1996). Esta característica coincide con otros reportes como el presentado por CONFEMADERAS (2004), que fue de 0.38 g/cm^3 , y varía sustancialmente con otros reportes como el de la FAO (1998), que reportó densidad básica para la especie de 0.32 g/cm^3 . Richter *et al.* (2000), reportó alrededor de 0.46 g/cm^3 , que es muy superior al encontrado en este estudio. Esta superioridad reportada por este autor en relación con la encontrada en este estudio, pudo estar relacionada con la cantidad abundante de madera juvenil que se obtuvo; aun cuando hubo presencia de abundantes gomas y ocasionalmente aceites, la madera presentó una densidad ligera, contrastando en esta característica, ya que el autor reporta que en su investigación las estructuras secretoras como las células oleíferas y mucilaginosas estuvieron ausentes, mientras que en este estudio estuvieron presentes.

En la Figura 3 se presenta la variación de la densidad básica promedio a lo largo de la sección radial de la madera de cedro; se puede observar que esta se presenta constante a lo largo de la sección, hasta la sección determinada a los 12 cm de longitud de la médula hacia la corteza. A partir de la sección determinada a los 13 cm de distancia desde la médula hacia la corteza, la característica varía, para experimentar un incremento entre esta sección de 13 cm y la determinada a los 14 cm, cambiando la pendiente de densidad.

Teniendo en cuenta los promedios de las secciones de la densidad básica, se observa un ligero incremento en las secciones de la zona intermedia para disminuir cerca de la corteza. La curva de regresión ajustada presenta un R^2 de 0.0129, lo que podría indicar que la tasa de crecimiento en diámetro de la especie no ejerce una influencia marcada sobre la densidad básica de la mis-

Tabla 6. Estadísticos del poder calorífico (cal/g) de *Cedrela odorata* L. en la parte de médula, intermedio y corteza en posición radial del árbol

Zona en el cilindro	Máximo	Promedio	Mínimo	Desviación estándar
Médula	4,554	4,517	4,459	50.0
Intermedio	4,541	4,494	4,415	69.4
Corteza	4,644	4,614	4,577	33.9

Tabla 7. Capacidad calórica de la madera de *Cedrela odorata* L

Posición radial del cilindro	Densidad básica (g/cm ³)	Poder calorífico (cal/g)	Capacidad calórica (cal/cm ³)
Médula	0.37	4,515	1,671
Intermedio	0.40	4,494	1,798
Corteza	0.37	4,614	1,707

ma, pues su coeficiente de determinación es apenas de 0.0129 (Figura 3).

Poder calorífico. El valor del poder calorífico encontrado en este estudio es alto 4.542 cal/g, haciendo un promedio de las tres zonas en sentido radial (médula, intermedio y corteza), comparado con el poder calorífico de la leña comercial que es de 3,000-4,000 cal/g RDMF (s/f). En este estudio el poder calorífico fue inferior al reportado por Quirino *et al.* (2005) que reportó 4.707 cal/g; este hecho, pudo estar relacionado con la gran cantidad de madera juvenil presente (Serna *et al.* 2010), lo que pudo afectar el poder de combustión de la parte del centro a la médula y hacerlo mayor hacia la madera madura, que se espera se encuentre hacia la corteza. Igualmente, puede existir una relación con la densidad básica, que fue ligeramente mayor hacia la corteza que hacia la médula. Igualmente, pudieron influir, otras características no tabuladas como el método o equipo utilizado, las condiciones ambientales de temperatura y presión atmosférica del sitio del ensayo, entre otros aspectos.

Camacho (1985), citado por Sánchez (1993), reporta que cuando el poder calorífico se expresa

en cal/cm³, se habla de la capacidad calórica, que resulta de tomar como un conjunto la densidad básica y el poder de combustión, lo cual se hace para evaluar la calidad de la combustión. Por tanto, la capacidad calórica es la cantidad de energía que es capaz de almacenar un material en su interior cuando genera calor.

Siguiendo lo anterior, en la Tabla 6 se presenta la relación tomando como un conjunto la densidad básica y el poder calorífico de cedro, que da como resultado la capacidad calórica de esta madera en tres zonas (médula, intermedio y corteza) en sentido radial del árbol, que representaría entonces las calorías liberadas por unidad de volumen de esta madera en este sitio de estudio; es decir, cuánta energía es capaz de liberar esta madera por unidad de volumen de la sustancia madera, lo que expresa que el cedro presentaría en promedio, una capacidad calórica de 1.725 cal por unidad de volumen, con la tasa más alta en la zona media que estaría influenciada por la densidad básica más alta (Tabla 7).

Conclusiones

En cuanto a las características microscópicas, la

madera de cedro presenta poros en promedio de 4 por mm², solitarios y ocasionalmente múltiples de distribución circular; parénquima axial difuso, marginal en bandas y paratraqueal vasocéntrico y triseriado en los radios. Radios de diámetro tangencial 322.73 μm y radial 41.75 μm; fibras de tipo libriforme con 1.209 μm de clasificación mediana y pared celular extremadamente gruesa, con lumen extremadamente ancho; presenta contenidos celulares en vasos, fibras y parénquima. Estas características microscópicas y el referente macroscópico de color, olor y ve-teado califican la madera como de cualidades aceptables que la hacen apetecible para una variedad de usos teniendo un adecuado manejo para las piezas en servicio, considerando las condiciones ambientales de la zona.

La densidad básica de la madera de cedro presenta una leve variación entre los cinco árboles estudiados, su promedio fue de 0.39 g/cm³, lo que ubica a la madera en la categoría de clasificación según la densidad como de madera ligera o liviana y la aceptación para usos principalmente, en construcción para interiores.

De acuerdo con la relación de Runkel, el cedro resultaría con una regular calidad para producción de pulpa, por lo que se descarta la especie para tal uso. El poder calorífico de cedro fue moderadamente alto con valor promedio de la madera de 4.542 cal/g, si se compara con el poder calorífico de otras maderas utilizadas tradicionalmente (leña) como combustibles (3,000-4,000 cal/g).

Literatura citada

- Allen S, Grimshaw-M H, Parkinson AJ, Quarby C. 1974. *Chemical analysis of ecological material*. 2ª. Ed. Oxford: Blackwell Scientific Publication. 456-63 p.
- Amidon-T E. 1981. Effect of wood properties of hardwoods on kraft paper properties. *Tappi*. 64 (3): 123-5.
- ASTM. 2005a. *Standard methods of testing small clear specimens of timber*. ASTM D143-94. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- Betancourt A. 1987. *Silvicultura especial de árboles maderables tropicales*. La Habana: Instituto de Investigaciones Forestales. 427 p.
- Camacho-J R. 1985. *Estudio del uso del bosque para la extracción de leña, madera para construcción de casas y fabricación de herramientas en una comunidad Otomí, San Andrés, Timilpan, Estado de México*. Tesis Profesional Biología. México, DF: Escuela Nacional de Estudios Profesionales, UNAM. 230 p.
- Cárdenas-L D, Castaño-A N, Sau-T S, Montero-G M, Ruiz-B L. 2011. *Evaluación de la distribución potencial actual en Colombia del cedro (Cedrela odorata) y el cocobolo (Dalbergia retusa), especies incluidas en apéndices citas y recomendaciones para el manejo in situ de sus poblaciones*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. 56 p.
- Carpio-M M. 1992. *Maderas de Costa Rica, 150 especies forestales*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica. 338 p.
- Casey-P J. 1990. *Pulpa y papel. Química y tecnología química*. México, DF: Editorial LIMUSA. 187-92 pp.
- CITES. 1999. *Fichas de identificación de especies maderables*. Trabajo de compilación. Universidad de Córdoba, España. Disco compacto.
- CONFEMADERAS y Unión Europea. 2004. *Guía práctica de especies de madera*. Madrid: CONFEMADERA (Confederación Española de Empresarios de la Madera).
- FAO. 1998. *Informe de la Quinta Reunión del Cuadro del Expertos de la FAO en Recursos Genéticos Forestales*. FO: FGR/5/Rep. Roma: FAO. 107 p.
- Forero E, Gentry A. 1989. *Lista anotada de plantas del departamento del Chocó, Colombia*. Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Museo de Historia Natural, Biblioteca José Jerónimo Triana. 142 p.
- Francesc de Paula PA, del Castillo-P B, Fernández-G A, Martínez- de Pedro C, Reguera-G A. 2004. *Guía práctica de especies de madera*. N° 24, 3ª. Ficha 28004M. Madrid: CONFEMADERA (Confederación Española de Empresarios de la Madera). 32 p.
- González-M EV. 2008. *Guía de contenidos. Identificación organoléptica y macroscópica de maderas comerciales*. Serie I Competencias básicas para la producción industrial de muebles de madera.

- Proyecto SNIP N° 10609 Asistencia técnica para el mejoramiento de la oferta exportable, estándares de calidad y normas técnicas en el sector madera en Lima y Pucallpa. Lima: CITES. 38 p.
- Larios-S P. 1979. *Índices de calidad de pulpa de dos coníferas*. Tesis Licenciatura. Departamento de Bosque. Texcoco: Universidad Autónoma Chapingo. 68 p.
- León-H JW, Espinoza de Pernía N. 2001. *Anatomía de la madera*. Mérida: Universidad de los Andes. 321 p.
- León-H W. 2003. Maderas de Venezuela: *Cedrela odorata*. En línea [fecha de acceso: 1 de diciembre de 2011]. URL disponible en <http://www.forest.ula.ve/<wleon/maderas.htm/Cedro.pdf>
- León-H JW. 2009. Anatomía de la madera y clave de identificación para especies forestales vedadas en Venezuela. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio de Anatomía de Maderas. *Revista Forestal Venezolana*. 53 (1): 51-62.
- Luna-O T. 1983. *Determinación de los índices de calidad de las pulpas de 29 maderas tropicales de Chiapas*. Tesis profesional. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. 54 p.
- Neita JC, Cortés H, Madrigal A. 2004. Los himenópteros asociados a una parcela agroforestal de *Barojoa patinoi* Cuartr, *Cedrela odorata* L, *Apeiba aspera* e *Inga spectabilis* Wills en la granja de la Universidad Tecnológica del Chocó, municipio de Lloró, Colombia. *Rev Colomb Entomol*. 30 (2): 233-9.
- Pennington-T D. 1968. *Manual para la identificación de campo de los principales árboles forestales tropicales de México*. México, DF: Instituto Nacional Forestal. 413 p.
- Quirino-W F, Ailton-T V, Andrade-A P, Silva-A VL, Santos-A AC. 2005. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. *Revista da Madeira* 89: 100-10.
- Revista Digital del Mundo del Fuego, RDMF. *Guía rápida de combustibles sólidos*. En línea [fecha de acceso: 12 de marzo de 2011]. URL disponible en: <http://www.fuegoterapia.com/news/guia-combustibles.html>
- Richter-I G, Dallwitz-M J. 2000. *Commercial timbers: descriptions, illustrations entification and information retrieval*. En línea [fecha de acceso: 9 de agosto de 2011]. URL disponible en: <http://delta-intkey.com/>
- Rivera I, Mites M, Rivera A. 2010. Informe regional completo de América Central, del Sur y el Caribe. PC19 Doc. 6.3 (Rev. 1) Anexo 2. Bogotá, Quito, Managua, Caracas: CITES. p 22.
- Sánchez-G MC. 1993. *Uso y manejo de la leña en X-uilub, Yucatán. Etnoflora yucateca. Sostenibilidad Maya*. 8: 54-68.
- Serna-M YB, Borja-de la R AM. 2010. Delimitación de la madera juvenil y madera madura en virutas de *Cedrela odorata* L. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*. 29 (1): 56-60.
- Smith DM. 1954. *Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples*. For USDA Serv. FPL Rep. 2014. Madison: Forest Products Laboratory. 8 p.
- Tamarit-U JC. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 latifoliadas. *Madera y bosques*. 2 (2): 29-41.
- Torres-AA, Solís-R L. 2004. Las bondades del cedro rojo. *Revista de divulgación científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*. 17 (3): 17-9.
- Vignote-P S, Jiménez F. 1996. *Tecnología de la madera*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 606 p.