

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE TRES MADERAS EN LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO, CUBA A TRES ALTURAS DEL FUSTE COMERCIAL. Parte N° 1: *Corymbia citriodora*,

L. R. Carballo-Abreu; U. Orea-Igarza; E. Cordero-Machado

¹Profesores Investigadores del Centro de Estudios Forestales, Universidad de Pinar del Río. Calle Martí # 270 final.
Correo-e: orea@af.upr.edu.cu; leilar@af.upr.edu.cu; ecordero@af.upr.edu.cu

RESUMEN.

Se estudió la composición química de la madera de *Corymbia citriodora*, a tres alturas del fuste comercial, las muestras fueron tomadas de la Empresa Forestal de Macurijes, en la provincia de Pinar del Río, Cuba, y analizadas empleando las Normas TAPPI. Se estudió mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) la celulosa de esta madera y la lignina mediante espectroscopia IR. Los resultados demuestran diferencias con la altura del fuste, disminuyendo los contenidos de sustancias extraíbles y ligninas con la altura del mismo. Los datos de la espectroscopia IR demostraron la presencia de ligninas del tipo siringil-guaiacilica y diferencias estructurales con la altura del árbol. La banda del espectro de absorción IR correspondiente a la región de 1500 cm^{-1} , explica las variaciones de los porcentajes de lignina con la altura, lo cual evidencia que en la parte superior del árbol esta lignina es menos reticulada y sugiere menor grado de polimerización de las unidades monoméricas que la componen. El comportamiento térmico de la celulosa de madera muestra señales más agudas en la parte superior del fuste con variaciones de entalpías mayores, sugiriendo variabilidad estructural de la celulosa con la altura del fuste comercial.

PALABRAS CLAVES: *Corymbia citriodora*, celulosa, lignina, extraíbles, composición química

CHEMICAL COMPOSITION OF THREE WOOD IN PINAR DEL RÍO CUBA AT THREE HEIGHTS OF THE COMMERCIAL BOLE. PART N° 1: *Corymbia citriodora*,

SUMMARY

The Chemical composition of wood from *Corymbia citriodora* was studied at three different heights of commercial bole. The samples were obtained from the Macurije zone in the Pinar del Río province. Cellulose, lignin, hemicelluloses, ash content, as well as the extractive substances in different solvent systems were studied according to TAPPI Standard Norms. Cellulose was studied by means of Differential Scanning Calorimetry, and lignin by Infrared Spectroscopy. The extractive substances and lignin content decreased with the height of commercial bole. Infrared results suggest the presence of syringyl -guaiacyl lignins, and structural differences in the different parts of the tree. IR signal in 1500 cm^{-1} explains the variation of lignin content according to the height of tree. These results suggest that the lignin in the upper part of a tree is less cross linked and has a lower degree of polymerization. The thermal behaviour of wood cellulose showed sharp peaks and higher enthalpy variations with the height of commercial bole.

The results showed that the chemical composition and structural characteristic of cellulose and lignin vary to height of the tree.

KEY WORDS: *Corymbia citriodora*, cellulose, lignin, extractives, chemical composition

INTRODUCCIÓN

En Cuba la utilización de la maderas de especies de rápido crecimiento se han limitado al uso estructural, siendo pocos los estudios del aprovechamiento de la madera con fines industriales. Como parte de un proyecto de investigación financiado por la Universidad de Pinar del Río

se estudió la composición química de la madera de la especie *Corymbia citriodora*, a diferentes alturas del fuste comercial.

Los árboles de la especie *Corymbia citriodora* son de forma excelente; puede alcanzar de 30 a 40 m de altura,

dispone de poco follaje, disperso, rico en aceites esenciales. El tronco muestra una corteza lisa y de color grisáceo. Esta especie no se ha comercializado mucho a pesar de sus buenas cualidades. Según Hillis, W. E. *et al.* (1984), su madera puede ser empleada en forma aserrada, postes largos, se tornea fácilmente y en general puede impregnarse bajo presión para usos diversos. En lugares donde se desarrolla convenientemente puede ser útil la destilación de la citronela proveniente de sus hojas, según FAO (1981). Ha sido plantada en Brasil con buenos resultados. La composición química de esta madera se ha estudiado según D'Almeida (1988) en edades comprendidas entre 7 y 13 años, encontrándose diferencias con la edad del árbol; sin embargo, es conocido que se presentan variaciones entre especies, árboles de la misma especie y en el propio árbol en dependencia de la altura y la posición radial en el fuste. Por lo que en el presente trabajo se estudia la composición química de la madera de *Corymbia citriodora* a tres alturas del fuste comercial (25, 55, 85 %), las características estructurales de la celulosa mediante Calorimetría Diferencial de Barrido y características de la lignina, mediante espectroscopia IR, para poder inferir sobre sus posibles usos en un futuro cercano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplean diez árboles de la especie *Corymbia citriodora* con características morfológicas semejantes, en edades comprendidas entre 20 y 22 años, procedentes de la Empresa Forestal Integral de Macurije, de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio de 25 cm, altura total de 18 m, y una longitud del fuste comercial de 12 m, desarrollados en un suelo esquelético, de calidad II.

Se toman discos de 20 cm de longitud (incluye duramen y albura) al 25, 55 y 85 % de la altura del fuste comercial de cada árbol, los discos de cada una de las alturas correspondientes se reducen a aserrín, se homogenizan y se obtiene una muestra para cada una de las alturas, se tamizan para obtener partículas entre 0.4 y 0.6 mm, se secan al aire y se guardan para el análisis químico.

Se calcula el contenido de humedad según la Norma TAPPI T-264 cm-97. (TAPPI, 1999).

Las determinaciones de los contenidos de sustancias extraíbles en diferentes sistemas de solventes se realizan en harina de madera sin extraer. Las determinaciones de los componentes de la pared celular se realizan en madera libre de extraíbles según la Norma TAPPI T-264 cm- 97. (TAPPI, 1999).

Determinación del contenido de sustancias solubles en tolueno – etanol (2:1)

El contenido de sustancias solubles en tolueno-etanol (2:1) se realiza mediante extracción continua en equipo Soxhlet durante ocho horas, según Norma TAPPI T-264 cm- 97. (TAPPI, 1999).

Determinación del contenido de sustancias solubles en etanol al 95 %

El contenido de sustancias solubles en etanol al 95 % se realiza en equipo Soxhlet durante cuatro horas, según Norma TAPPI T-264 cm- 97. (TAPPI, 1999).

Determinación del contenido de sustancias solubles en agua a temperatura ambiente

El contenido de sustancias solubles en agua a temperatura ambiente se realiza colocando la muestra en un recipiente de 400 ml de capacidad, se cubre con 300 mL de agua destilada a temperatura ambiente durante 48 horas, con agitación frecuente, se filtra y el residuo se seca en estufa a 103 ± 2 °C hasta masa constante, según Norma TAPPI T 207 om-93. (TAPPI, 1999).

Determinación del contenido de sustancias solubles en agua a 95 °C

El contenido de sustancias solubles en agua a 95 °C se realiza colocando la muestra, con 100 ml de agua destilada y se refluja durante tres horas, se filtra el residuo, se seca en estufa 103 ± 2 °C hasta masa constante, según Norma TAPPI T 207 om-93 (TAPPI, 1999).

Determinación del contenido de sustancias solubles en NaOH al 1 %

El contenido de sustancias solubles en disolución de NaOH al 1 % se realiza mezclando la muestra con 100 ml de NaOH al 1 %, la mezcla se coloca a reflujo durante una hora, se filtra y lava con agua caliente, se añaden 25 ml de HAc al 10 % y se deja humedecer durante un minuto. Esta operación de lavado se repite hasta que la muestra quede libre de ácido, se seca en estufa a 103 ± 2 °C hasta masa constante, según Norma TAPPI T-212 om 98 (TAPPI, 1999).

Determinación del contenido de lignina insoluble en ácido

El contenido de lignina insoluble en ácido se realiza en madera libre de sustancias extraíbles, la muestra se mezcla con 15 ml de H_2SO_4 al 72 %, se agita con frecuencia a 15 °C durante dos horas. La mezcla se diluye con agua

destilada, se coloca a reflujo durante cuatro horas, se filtra, el residuo se seca hasta masa constante, según Norma TAPPI T-222 om-98. (TAPPI, 1999).

Determinación del contenido de Celulosa

El contenido porcentual de celulosa se determina mediante el método de Kúrshner – Höffer, al material libre de sustancias extraíbles se le añaden 25 ml de mezcla reactiva de HNO_3 – etanol (1:4), se coloca a reflujo en baño de agua durante una hora, se decanta y se añade nueva cantidad de mezcla reactiva, repitiendo esta operación tres veces. Posteriormente se añaden 25 ml de KOH al 1 % durante 30 minutos, se filtra y el sólido se seca hasta masa constante, según técnica descrita por Melcer, I. y Kolektiv. (1976).

Determinación del contenido de pentosanos

El contenido de pentosanos se realiza mediante la reacción con ácido clorhídrico al 12 %, la hidrólisis y conversión en furfuraldehídos, y posterior precipitación con ácido barbitúrico, de acuerdo con la técnica descrita por Browning, B. L. (1967).

Determinación del contenido de holocelulosa

El contenido de holocelulosa en la madera se realiza mezclando la muestra con 300 ml de agua destilada por cuatro horas, se añaden diez gramos de NaClO_2 y tres ml de HAc glacial, la mezcla se coloca en baño de agua a 70 °C y reflujo durante 30 minutos, se filtra y lava con agua fría. El residuo sólido es tratado con 400 ml de NaOH al 1 % con agitador magnético durante 35 minutos, se filtra y se lava hasta pH = 7 con disolución de HAc, según técnica descrita por Melcer, I., Kolektiv (1976).

Estimación del contenido de hemicelulosas totales

Las hemicelulosas totales se estiman por diferencia entre 100 % y la suma del porcentaje de celulosa y el porcentaje de lignina en madera libre de extraíbles (Bland, D.E., 1985).

Determinación del contenido de sustancias minerales

El contenido de sustancias minerales en la madera se realiza por el método TAPPI T-211 om-93, (TAPPI, 1999) colocando la muestra en crisoles de porcelana en una mufla a 575 ± 25 °C durante seis horas.

Análisis mediante Calorimetría Diferencial de Barrido. (DSC)

Los termogramas se obtienen al colocar 4.5 mg de muestra en crisoles de aluminio, se obtienen los

termogramas para cada muestra en un intervalo de temperatura de 30 a 600 °C, con velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Se emplea un calorímetro diferencial de barrido (DSC-25) de la firma METTLER TA, 4000, de procedencia Suiza, y Software acoplado, QNX-Graph Ware TA 72 AT2.

Espectroscopia IR en muestras de lignina y celulosa de madera

Los espectros IR de las muestras se midieron en el rango de 4,000 a 400 cm^{-1} y en unidades de absorbancia en un espectrómetro M-80 de la Carl – Zeiss - Jena, de procedencia Alemana.

El cálculo de las intensidades se realizó con un umbral de detección para el cambio de la pendiente de 0,05 unidades de absorbancia, mediante el programa SOP2, 06 de búsqueda de máximos de absorción del cassette Data Handling, suministrado por el fabricante, con lo que se asegura una alta confiabilidad en las mediciones. Se ajustó la línea base del espectro mediante el programa SOP 1, 20 del equipo básico.

Las pastillas de KBr de las muestras se confeccionaron pesando exactamente 3 mg de muestra y 230 mg de KBr y aplicando una presión de 15 Mpa durante dos minutos en el conformador de pastillas.

Las condiciones de medición de los espectros son: Programa de rendija 12(6 cm^{-1}); Ajuste del cero 0; Tiempo de integración 1 seg.; Tiempo de medición 10 min.; Escala en el eje X1; Escala en el eje Y1; Umbral 0.005

El Programa ASIR V2.0 (1997) permitió asignar las bandas empleando un sistema automatizado para la asignación de las bandas características más relevantes en el IR y con ayuda de la literatura especializada, Barker, S.A. (1956).

Para poder realizar comparaciones cuantitativas, las intensidades de las absorciones de interés analítico se “normalizaron” dividiendo la absorbancia de la banda en cuestión, por la concentración de la muestra a fin de corregir las variaciones en el grosor de la pastilla entre las muestras, es decir:

$$\text{INk} = \text{Ik} / \text{Cm}$$

Donde: INk–intensidad normalizada de la banda K en cm^{-1} ; Ik–intensidad de la K en cm^{-1} ; Cm = pm/pKBr –concentración de la muestra; pm–peso de la muestra; pKBr–peso del KBr

Los análisis estadísticos siempre que las variables se ajusten a la distribución normal, se utilizan los análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Duncan de comparación de medias. Las pruebas no paramétricas de Kruskal - Wallis y la prueba de Student- Newman- Keuls (SNK) se aplican a aquellas variables que no cumplen con una distribución normal.

RESULTADOS

CUADRO 1. Composición química de la madera de *Corymbia citriodora* a tres alturas del fuste comercial. (25, 55 y 85%).

Determinaciones (%)	25	55	85
Solubilidad en Tolueno Etanol (2:1)	3.48 a	1.38 c	2.02 b
Solubilidad en Etanol después de Tolueno-Etanol (2:1)	0.77c	1.24 b	1.91 a
Solubilidad en agua a 95 °C después de Tolueno-Etanol (2:1) y Etanol 95 %	3.54 a	3.49 a	3.13 b
Solubilidad en Etanol	4.75 a	1.17 c	2.49 b
Solubilidad en agua temp. ambiente	1.96 a	1.40 a	1.54 a
Solubilidad en agua a 95 °C	4.18 a	1.62 c	2.5 b
Solubilidad en NaOH 1 %	14.01 c	17.60 b	20.19 a
Lignina insoluble en ácido	18.30 b	19.70 a	17.40 c
Pentosanos	18.01 a	18.05 a	14.95 b
Celulosa	53.44 a	47.79 a	53.80 a
Hemicelulosas	28.28 a	33.83 a	27.36 a
Holocelulosas	81.73 b	80.29 c	82.61 a
Contenido de sust. minerales	0.6 a	0.50 a	0.50 a

Nota: porcentajes en base a masa absolutamente seca. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre medias según la prueba de Rango Múltiple de Duncan, Kruskal-Wallis SNK para $\alpha < 0,05$.

CUADRO 2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la celulosa de la madera de *Corymbia citriodora* a tres alturas del fuste comercial. (25, 55 y 85%).

Señal	Alturas		
	25	55	85
1-Temperatura (°C) ΔH (J/g)	145.4 + 75.2	145.4 + 71.9	148.2 + 37.9
2-Temperatura (°C) ΔH (J/g)	281.2 + 68.3	281.2 + 496	274.0 + 103.4
3-Temperatura (°C) ΔH (J/g)	360.8 - 79.4	360.8 - 73.5	346.8 - 150.8

Composición química de...

CUADRO 3. Asignación de las bandas del espectro infrarrojo de ligninas de Eucalipto.

Nr.	Asignación	cm ⁻¹
1	v OH (enlace de hidrógeno)	3,423 ± 14
2	v =C-H anillo aromático	3,010 h
3	v _{as} CH ₂ (guaiacil - siringil)	2,936 ± 1
4	v _s CH ₂ (guaiacil - siringil)	2,840 ± 1
5	v C=O cetona no conjugada y éster aromático	1,712 ± 3
6	v C=O cetona arílica p-sustituída (guaiacil)	1,670 h
7	v C=C anillo aromático	1,610 ± 2
8	v C=C anillo aromático (guaiacil – siringil)	1,501 ± 3
9	δ _{as} CH ₂	1,457 ± 1
10	v C=C anillo aromático (guaiacil – siringil)	1,424 ± 1
11	δ _s CH ₂	1,370 h
12	δ C-OH fenólico	1,340 h
13	v _s N anillo siringílico y v C-O	1,314 ± 1
14	a) v _s N anillo guayacílico y v C-O b) v _{as} C-O-C éster aromático	1,285 ± 3
15	v _s N anillo siringílico y v C-O	1,225 ± 3
16	v _s C-O-C éster aromático	1,107 ± 1
17	a) δ C-H anillo aromático guayacílico b) δ C-OH alcohol primario	1,024 ± 1
18	γ =CH anillo aromático (guaiacil – siringil)	913 ± 1
19	γ =CH anillo aromático (guaiacil – siringil)	866 ± 6

Claves: v: Vibración de valencia del enlace; δ: Vibración de doblaje en el plano del grupo funcional; γ: Vibración de doblaje fuera del plano del grupo funcional; N: Ciclo glucopiranosico; as: asimétrico; s: simétrico

CUADRO 4. Intensidades normalizadas de las absorciones ir de la lignina de madera de eucalipto.

Nr.	Muestra (altura)	IN	% Lignina
4	<i>E. citriodora</i> Base. (25%)	112.2113	18.30
5	<i>E. citriodora</i> Medio. (55%)	103.6786	19.70
6	<i>E. citriodora</i> Ápice. (85%)	94.8968	17.40
	Promedio	103.59556	18.46
	Desv. Estándar	7.0688	0.9463

DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, las sustancias solubles en tolueno-etanol (2:1) están presentes en mayores proporciones al 25 % de la altura del fuste comercial, con diferencias estadísticas significativas para las alturas estudiadas. A esta misma altura, se presentan los valores menores de las sustancias solubles en etanol al 95 % después de realizada la extracción con tolueno-etanol (2:1), aumentando con la altura del fuste comercial y sugiere que después de la extracción tolueno-etanol (2:1) la parte superior del fuste tiene mayor cantidad de sustancias polares.

Un comportamiento semejante fue publicado por Turner, Ch., *et al.* (1983) y Pereira, H. (1988) en Portugal, al estudiar el *E. globulus* Labill. Este comportamiento se

debe, a que parte de las sustancias polares al 25 % de la altura ya han sido extraídas con el sistema de solventes tolueno-etanol (2:1), y la consiguiente extracción con etanol al 95 % resulten valores bajos, y sugiere además, que la mayor cantidad de sustancias polares se encuentra hacia la parte inferior del fuste, aspecto que se comprueba en la extracción con etanol al 95 % directamente de la madera, que presenta los mayores valores porcentuales al 25 % de la altura del fuste comercial y manifiesta una disminución con la altura, con diferencias estadísticas significativas entre sí.

Las sustancias solubles en agua a 95 °C después de la extracción con tolueno-etanol (2:1) y etanol al 95 % no muestra grandes variaciones con la altura, sólo el 85 % de la altura presenta diferencias significativas entre el 25 % y el 55 %.

Al comparar la solubilidad en agua a temperatura ambiente y a 95 °C, se puede observar un efecto positivo de la solubilidad al aumentar la temperatura, la que resulta mayor al 25 % de la altura del fuste, y diferencias estadísticas significativas entre las tres alturas del fuste comercial para las sustancias solubles en agua a 95 °C. Este resultado evidencia que las sustancias polares se encuentran en mayor proporción hacia las partes más bajas del fuste comercial, como antes fue señalado.

El NaOH al 1 % extrae gran cantidad de sustancias ácidas y sustancias fenólicas, las que aumentan con la altura del fuste comercial, mostrando diferencias estadísticas significativas entre sí. Los resultados demuestran la presencia de sustancias ácidas, fenoles y polifenoles, así como, kinos, (compuestos fenólicos producto del metabolismo secundario de la planta), según datos publicados por Hillis, W.E. (1984); Pereira, H. (1988); Ona, T. (1995) en maderas de estas especies.

Los contenidos porcentuales de pentosanos presentan los valores máximos al 25 y 55 % de la altura, mostrando diferencias estadísticas significativas con respecto al 85 % de altura del fuste comercial, no habiendo diferencias entre el 25 y 55 % de la altura del fuste.

La lignina no presenta altos valores porcentuales, aunque sí presenta diferencias estadísticas significativas a las tres alturas del fuste estudiado, valores que están en correspondencia con los resultados publicados por D' Almeida, M.L.O. (1988) para esta misma especie en Brasil.

Los contenidos de celulosa son elevados, sin diferencias estadísticas significativas, lo que concuerda con los resultados obtenidos por D' Almeida, M.L.O. (1988) y semejantes a los porcentajes publicados por Pereira, H. y Araújo, C. (1991) para el *E. globulus* Labill en Portugal.

Los contenidos de hemicelulosas totales para las muestras de esta especie no presentan grandes diferencias

porcentuales, ni diferencias estadísticas significativas con la altura del fuste comercial. Los contenidos de sustancias minerales no muestran diferencias estadísticas significativas a las diferentes alturas estudiadas y sus valores son bajos comparados con los obtenidos por D' Almeida, M.L.O. (1988) para esta misma especie, pudiendo estar asociado a las características del suelo donde se desarrollan estos árboles.

En general, el *C. citriodora* no presenta diferencias a lo largo del fuste comercial en los contenidos de sustancias solubles en agua a temperatura ambiente, celulosa, hemicelulosa y sustancias minerales; mostrando diferencias en los contenidos de sustancias solubles en los diferentes tipos de sistemas de disolventes, contenidos de lignina y pentosanos. Los altos contenidos de celulosa deben ser tenidos en cuenta por ser una fuente de material fibroso apreciable.

El estudio de la composición química de la madera de *C. citriodora* que crece en la provincia de Pinar del Río, Cuba, demostró diferencias con la altura del fuste comercial.

En la descomposición térmica de la celulosa de la madera de *C. citriodora* mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) que se muestra en el cuadro II, reflejan que las variaciones de entalpía (DH) para las tres alturas del fuste son negativas (picos exotérmicos), siendo más agudos al 85 % seguido por el 55 y el 25% de la altura del fuste. Los resultados demuestran que la celulosa de la parte superior del fuste presenta un comportamiento térmico diferente al resto del árbol lo que sugiere junto al análisis químico diferencias grandes con las demás partes del árbol. Resultados que están de acuerdo con los obtenidos por Eickner, (1962); Agustín, (1963, 1964); Kosik, (1968); Beal, (1969); citados por Herrera, A., *et al.* (1988), los que estudiaron la descomposición térmica de la madera y sus componentes individuales,

Análisis Infrarrojo de la lignina de la madera

En la Tabla III se muestra la asignación de las frecuencias de grupo características más importantes en los espectros Infrarrojo de las muestras de lignina de eucalipto, que desde el punto de vista cualitativo no presentan diferencias. Cuando a una banda se asigna más de un tipo de vibración es que todas son igualmente probables y deben estar superpuestas. Las absorciones características asignadas se pueden clasificar como absorciones características del grupo O-H (bandas N° 1, 12, 17b), absorciones características del grupo CH₂ (bandas N° 3, 4, 9, 11), absorciones características de anillos aromáticos (bandas N° 2, 7, 8, 10, 13, 14a, 15, 17a, 18, 19), absorciones características de ésteres aromáticos (bandas N° 14b y 16), absorciones características de grupo carbonilo (bandas N° 5 y 6)

Como se puede apreciar, las absorciones que muestran los espectros IR se corresponden con las estructuras "guaiacil-siringílicas", presentes en todas las ligninas de latifoliadas. No se aprecian bandas de hemicelulosas por lo que, de estar presentes, su concentración es comparativamente baja con respecto a la de la lignina.

Análisis comparativo

Para comparar los contenidos de lignina en las muestras, se calculan las intensidades normalizadas de la banda N^o. 8 de la Tabla III, en los espectros IR de la lignina de la especie de eucalipto a las tres alturas del fuste comercial.

La absorción N^o. 8 se asigna a una vibración de valencia del anillo aromático, muy característica desde el punto de vista espectroscópico, que se refiere (Sarkanen, K. V., 1971; Rodríguez J., *et al.*, 1998) como muy peculiar de la lignina.

Los datos de la Tabla IV nos indican que para la especie *C. citriodora* el contenido de lignina disminuye hacia el ápice, este comportamiento podría estar relacionado con el proceso de formación de la pared celular de la madera, donde la lignificación es la última etapa, por lo que en el ápice, cuya madera es la más joven de las estudiadas, la lignina es la menos reticulada y la presencia de los sistemas aromáticos que la conforman es menor. Del mismo modo en la base, donde la madera es más madura, el contenido de anillos aromáticos en la lignina es superior.

Por otro lado, la banda del espectro de absorción IR correspondiente a la región de 1500 cm⁻¹, explica los resultados que se exponen al analizar las variaciones de los porcentajes de lignina con la altura del árbol, lo cual evidencia que esta lignina es menos reticulada y sugiere menor grado de polimerización de las unidades monoméricas que la componen. Estos resultados se relacionan con los obtenidos por Carballo, L. R. 1990 donde en árboles de mayor edad los contenidos de lignina resultaban menores ya que al presentarse un mayor grado de reticulación la accesibilidad química disminuye y los contenidos porcentuales son menores aunque su masa molecular sea mayor.

El comportamiento térmico de la celulosa de madera muestra señales más agudas en la parte superior del fuste con mayores variaciones de entalpía, demostrando junto al estudio de la composición química de la madera y los datos espectroscópicos variabilidad con la altura del fuste comercial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a la UPR de Pinar

del Río por el financiamiento del proyecto de investigación. Al Instituto de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), en la Ciudad de la Habana, Cuba y a las personas de ese mismo Instituto, Dr. Amaury Álvarez Delgado, Lic. Adys Bermello y al Lic. Adolfo Brown por la ayuda en la realización de los análisis IR y DSC.

LITERATURA CITADA

- BARKER, S. A.; BOURNE, E. J.; WHIFFEN, D. H. 1956. Use of infrared Analysis in the Determination of carbohydrate structure, *Methods of Biochemical Analysis III*: 213-245.
- BLAND, D. E. 1985. The composition and Analysis of eucalyptus wood *Revista Appita*, 38(4): 291-294.
- BROWNING, B. L. 1967. *Methods of Wood Chemistry*, Intersci, Public. N. Y., London, II: 800.
- CARBALLO, L. R. 1990. The influence of chemical composition and age of caribea pine wood (*Pinus caribea*) on the physical and mechanical properties as well as on the yield of sulfite pulp". Faculty of wood Technology, University College of Forestry and wood Technology. Dissertation Thesis of the degree of CSc Zvolen. Rep. Eslovaca.
- D'ALMEIDA, M. L. O. 1988. Composição Química dos Materiais Ligno-celulosicos. In. *Papel e Celulosa, Tecnologia da Fabricação da Pasta celulosa*. IPT Sao Paulo. Brasil: 45-54.
- FAO. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Colección FAO Montes, (11) Roma. 414-416.
- HERRERA, H.A.; VELES, S. I.; VERGNET, A. M. 1988. Pirólisis de maderas argentinas, Instituto Tecnología de la madera, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- HILLIS, W. E.; BROWN, A.G. 1984. *Eucalypts for wood production*. Academic Press. CSIRO. Australia.
- MELCER, I.; KOLEKTIV. 1976. *Analytická Chémia Dreva*, SNTL-Alfa, Bratislava.
- ONA, T. 1995. Small scale method to determine the contents of wood components from multiples eucalyptus samples. *TAPPI Journal*, 72(3): 121-126.
- PEREIRA, H. 1988. Variability in the chemical composition of plantation Eucalypts (*E. globulus* Labil.). *Wood and Fiber Science*. 20(1): 82-90.
- PEREIRA, H.; E. ARAÚJO, C. 1991. Raw material quality of fast grown *Eucalypts globulus* during the first year IAWA bull 11(4): 421-427.
- PROGRAMA ASIR V2.0 ICIDCA. 1997.
- PROGRAMA SPSS for windows. 1997.
- RODRÍGUEZ, J.; FAIX, O.; PEREIRA, H. 1998. Determination of lignin contents of *E. globulus* wood Using FTIR spectroscopy, *Holzforchung* 52(1): 46-50.
- SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. V. 1971. Definition and Nomenclature. In *Lignins: Occurrence, Formation, Structure and Reactions*. (Sarkanen K.V. y C.H. Ludwig, ed.), Wiley-Interscience, New York, 1-18.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. 1999. *TAPPI Test Methods*; TAPPI Press, Atlanta, GA.
- TURNER, C. H.; BOLODIS, V.; DEAN, G. H. 1983. Variability in pulping quality of *E. globulus* Labil, from Tasmania provinace. *Appita*. 36(5): 371-376.