

# COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CORTEZA DE TRES ESPECIES DE EUCALIPTOS, A TRES ALTURAS DEL FUSTE COMERCIAL

## PARTE 1: *Eucalyptus citriodora* var. *citriodora*

*Chemical composition of bark of three species of eucalyptus to three heights of commercial bole.*

### Part 1: *Eucalyptus citriodora* var. *citriodora*

Uvaldo Orea-Igarza, Elena Cordero-Machado, Noaris Pérez Díaz y Robert Gómez Marín

Universidad de Pinar del Río, Centro de Estudios Forestales, Pinar del Río, Cuba. E- mail: orea@af.upr.edu.cu

Recibido: 22-09-06 / Aceptado: 06-12-06

#### RESUMEN

Se estudió la composición química de la corteza de *Eucalyptus citriodora* var. *citriodora*, a tres alturas del tronco, en muestras procedentes de la Empresa Forestal de Macurijes, en la provincia de Pinar del Río, Cuba. Se determinaron los contenidos de celulosa, lignina, hemicelulosa, cenizas, y las sustancias extraíbles, empleando las Normas TAPPI. La celulosa se estudió mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y espectroscopia IR. Los resultados sugieren gran variabilidad en el contenido de sustancias extraíbles, en la estructura de las ligninas y la celulosa.

**Palabras clave:** *E. citriodora* var. *citriodora*, celulosa, lignina, extraíbles, DSC, IR

#### ABSTRACT

The chemical composition of bark of *Eucalyptus citriodora* var. *citriodora* was studied, to three heights of the bole, in samples coming from Forest Company of Macurijes, in the province of Pinar del Río, Cuba. The contents of cellulose, lignin, hemicelluloses, ash, and the extractive substances, using the TAPPI Norms were determined. The cellulose was studied by means of Differential Scanning Calorimetric (DSC) and IR spectroscopy. The results suggest great variability in the content of extractive substances, as well as the lignin and the cellulose structures.

**Key words:** *E. citriodora* var. *citriodora*, cellulose, lignin, extractives, DSC, IR

#### INTRODUCCIÓN

El árbol de *Eucalyptus citriodora* var. *citriodora*, (Lemon Scented Gum) es de forma excelente; puede alcanzar de 30 a 40 m de altura, dispone de poco follaje pero disperso. El tronco muestra una corteza lisa y de color grisáceo. La madera de esta especie no es muy comercializable a pesar de sus buenas cualidades, puede ser empleada en forma de madera 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.

En el análisis de la composición química de las maderas no sólo se han encontrado variaciones con la edad, sino además entre especies, árboles de la misma especie y en el propio árbol en dependencia de la altura y la posición radial en el tronco, y no se han encontrado reportes de la composición química de la corteza de esta especie (Gary, 2004).

En este trabajo se estudia la composición química de la corteza de *E. citriodora* var. *citriodora* a tres alturas del tronco comercial (25%; 55%; 85%), las características estructurales de la celulosa y la lignina mediante calorimetría Diferencial de Barrido y espectroscopia IR.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon diez árboles de la especie *E. citriodora* var. *citriodora* con características morfológicas semejantes, en edades comprendidas entre 20 y 22 años, procedentes de la Empresa Forestal Integral (EFI) de Macurije, de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Los árboles con diámetros a la altura del pecho (DAP) promedio de 17 cm, altura total de 14 m, y una longitud del tronco comercial de 8 m, desarrollados en un suelo ferralítico, de calidad II.

Se tomaron rodajas de 20 cm de longitud al 25%; 55% y 85% de la altura del tronco comercial de cada

árbol, los que fueron descortezados manualmente, la corteza fue secada al aire y reducidas a partículas en molino de martillo, se homogenizaron y tamizaron para obtener partículas entre 0,4 y 0,6 mm y se guardaron en frascos de cristal para su conservación y posteriores análisis. Se calculó el contenido de humedad según la Norma TAPPI T-12-os-75 (TAPPI, 1999).

### **Determinación del contenido de sustancias solubles en Hexano**

El contenido de sustancias solubles de baja polaridad se realiza mediante extracción continua en equipo Soxhlet durante ocho horas, empleando hexano como disolvente según 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  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  hasta masa constante, según Norma TAPPI T 207 om-93 (TAPPI, 1999).

### **Determinación del contenido de sustancias solubles en agua a $95^\circ\text{C}$**

El contenido de sustancias solubles en agua a  $95^\circ\text{C}$  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  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  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  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 72%, se agita con frecuencia a  $15^\circ\text{C}$  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- 222om-98 (TAPPI, 1999).

### **Determinación del contenido de Celulosa**

El contenido porcentual de celulosa se determina mediante el método de Kürshner – Höffer, el material libre de sustancias extraíbles se le añaden 25 ml de mezcla reactiva de  $\text{HNO}_3$  – 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 (1976).

### **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  $\text{NaClO}_2$  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 (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, 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  $575 \pm 25$  °C durante seis horas.

### Análisis mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

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 celulosa

Los espectros IR se midieron en el rango de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  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, 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  $\text{cm}^{-1}$ ); Ajuste del cero 0; Tiempo de integración 1 seg; Tiempo de medición 10 min; Escala en el eje X 1; Escala en el eje Y 1; 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 (García, 1996).

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:  $IN_k = I_k / C_m$ , Donde:  $IN_k$  - intensidad normalizada de la banda  $K$  en  $\text{cm}^{-1}$ ;  $I_k$  - intensidad de la  $K$  en  $\text{cm}^{-1}$ ;  $C_m = \text{pm}/\text{pKBr}$  - concentración de la muestra; pm - peso de la muestra; pKBr - peso del KBr.

Los análisis estadísticos realizados fueron 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) fueron aplicadas a aquellas variables que no cumplieron con una distribución normal.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1, muestra la composición química de la corteza de *E. citriodora* var. *citriodora* a tres alturas del tronco comercial (25%; 55%; 85%).

Del cuadro se puede observar, que las sustancias solubles en hexano alcanzan diferencias estadísticas significativas para las tres alturas del tronco comercial. Sugiriendo una mayor composición de las sustancias lipofílicas en la parte inferior del tronco, la que va disminuyendo con la altura. Este comportamiento pudiera estar relacionado a características genéticas de la especie, al presentar un tronco con corteza lisa y poca corteza externa y por tanto menor acumulación de ceras, cutina, suberinas, compuestos apolares que pueden estar presentes, según reporta Guardiola y Amparo (1995).

Las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente aumentan a medida que se asciende en el tronco comercial, con diferencias estadísticas signi-

**Cuadro 1.** Composición química de la corteza de *E. citriodora* var. *citriodora* a tres alturas del tronco comercial (25%, 55%, 85%).

Determinaciones (%)	25%	55%	85%
Solubles en hexano	2,09(a)	1,37 (b)	0,79 (c)
Solubles en agua a temp. ambiente	11,44(c)	11,75 (b)	12,85 (a)
Solubles en agua a 95°C	12,42(b)	14,61 (a)	14,32 (a)
Solubles en etanol 95%	12,58(c)	12,90 (b)	13,50 (a)
Solubilidad en NaOH 1%	34,28(b)	36,27(a)	35,82 (a)
Lignina insoluble del ácido	18,36(b)	20,52(a)	20,62(a)
Celulosa	61,80(c)	64,42 (a)	62,55 (b)
Holocelulosas	81,54(a)	79,50 (b)	79,70 ( b)
Sustancias minerales	4,47(c)	4,89 (a)	4,58 (b)

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 y SNK para  $\alpha < 0,05$ .

**Cuadro 2.** Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la celulosa de la corteza de *E. citriodora* var. *citriodora* a tres alturas del tronco comercial (25%, 55%, 85%).

Señal	Alturas		
	25%	55%	85%
1- Temperatura (°C)	138,9	154,9	147,8
ΔH (J/g)	+ 105,9	+ 119,8	+ 99,7
2- Temperatura (°C)	344,9	356,3	344,9
ΔH (J/g)	-96,6	-40,9	-127,0

ficativas para las tres alturas.

Las sustancias solubles en agua a 95°C alcanzan mayores valores que a temperatura ambiente, lo que indica un aumento de la solubilidad de las sustancias polares con la temperatura, a medida que aumenta la altura del tronco. Con diferencias estadísticas significativas del 25% de altura con el 55% y 85% de altura del tronco comercial.

Las sustancias solubles en etanol al 95% corroboran la tendencia al aumento de la solubilidad de las sustancias polares con la altura del tronco, con diferencias estadísticas significativas a las tres alturas estudiadas.

Al realizar la extracción con NaOH al 1% se obtienen valores superiores, indicando un aumento con la altura, con diferencias estadísticas significativas del 25% con el 55% y 85% de altura. Estos altos valores pueden estar asociados a la presencia

de fenoles y polifenoles muy característicos en estas especies (Marquina *et al.*, 2005).

Estas extracciones en los diferentes sistemas de solventes pueden ser consideradas como vía en la obtención de compuestos antioxidantes (Stanley, 2003).

La lignina insoluble en ácido muestra valores altos en general, mostrando el 25% diferencias estadísticas significativas con el 55% y 85% de altura lo que indica un incremento con la altura del tronco. Estos valores pueden encontrarse interferidos por los altos contenidos de fenoles y polifenoles en este material que no han podido ser completamente removidos y pudieran provocar reacciones de condensación polifenólica según destaca Poo (1995).

Los contenidos de celulosa en la corteza de esta especie son altos, con diferencias estadísticas significativas a las tres alturas del tronco comercial. Estos altos valores están asociados a características

**Cuadro 3.** Asignación de las bandas del espectro infrarrojo de la celulosa de corteza.

Nº	Asignación	cm <sup>-1</sup>
1	v OH (polisacáridos)	3300 – 3400
2	vas CH <sub>2</sub>	2901±2
3	vs CH <sub>2</sub>	2870 h
4	v C=O	1736±2
5	δ OH (agua adsorbida)	1638±4
6	δ CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> -OH)	1428
7	δ C <sub>1</sub> -H (anómeros α y β de polisacáridos)	1372±3
8	δ OH (polisacáridos)	1338
9	a) δ C <sub>1</sub> -H (anómeros β de polisacáridos) b) γ CH <sub>2</sub>	1315±1
10	v C-O-C (polisacáridos)	1173±1
11	v C-O (polisacáridos)	1104
12	a) v C-O/v C-C (polisacáridos) b) v C-O o δ OH alcohol primario	1052
13	v C-O/v C-C (polisacáridos)	1016
14	a) CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> -OH) b) v N	904±2
15	δ acetilo	615±1

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 piranósico  
as: asimétrico  
s: simétrico

**Cuadro 4.** Intensidades normalizadas de las absorciones IR de la celulosa de corteza.

Nº	Muestra	IN-2900	IN-1428	IN-904	IN-1736
4	CB: Citriodora Base (25%)	30,3202	38,0729	18,3759	16,5048
5	CM: Citriodora Medio (55%)	34,1143	42,5252	18,3615	13,7569
6	CA: Citriodora Ápice (85%)	27,0313	33,3622	15,1957	16,0426
	PROMEDIO	30,4883	37,9867	17,3110	15,4347
	DESV. ST.	2,9150	3,7408	1,4957	1,1983

estructurales de este polímero en la corteza, y a la presencia de hemicelulosas en las muestras de celulosa, lo que se comprueba mediante los análisis de D.S.C. e IR.

Las holocelulosas presentan valores elevados caracterizados en lo fundamental por los altos con-

tenidos de celulosa, con diferencias estadísticas significativas del 25% con el 85% y 55% de la altura del tronco.

Las sustancias minerales muestran diferencias estadísticas significativas a las tres alturas estudiadas. Estos valores son considerados altos compara-

dos con los obtenidos por Chang (1954) Harder y Enspahr (1980).

En general la composición química de la corteza de esta especie muestra gran variabilidad a lo largo del tronco comercial, y demuestra la diferencia en composición con la madera de la misma especie a las mismas alturas y con otras especies (Fradinho, 2002).

El estudio de la descomposición térmica de la celulosa de la corteza de esta especie a tres alturas del tronco comercial (25%; 55%; 85%), se muestra en el Cuadro 2, donde la primera señal (1), muestra diferencias en las variaciones de entalpías  $\Delta H$  (+) a las diferentes alturas, donde se alcanza el mayor valor de  $\Delta H$  (+) y la mayor temperatura al 55% de la altura del tronco estudiado. El menor valor de  $\Delta H$  (+) corresponde al 85% de la altura del tronco. Esta señal puede ser atribuida a la descomposición térmica de las hemicelulosas, lo que se corresponde con lo planteado por Herrera (1988), e indica que la celulosa empleada para el análisis no se encuentra completamente pura, evidencia que en la corteza de esta especie existen complejos polisacáridos-polisacáridos, difíciles de romper mediante el tratamiento con  $\text{HNO}_3$ :etanol (1:4).

La señal (2) aparece a igual temperatura para las alturas 25% y 85%, no así para el 55% de altura. Los valores de  $\Delta H$  (-) son diferentes para cada altura estudiada, donde el mayor valor se obtiene al 85% de altura del tronco y el menor valor de  $\Delta H$  (-) al 55% de la altura.

Esta diversidad en las señales se corresponden con lo planteado por Herrera (1988) para la pirólisis de la celulosa, la que sugiere diferir en estructura a la celulosa de la madera de esta misma especie a iguales alturas, con probables diferencias en grado de polimerización y cristalinidad. Además la diferencia en los termogramas tanto de la celulosa de la madera como de la celulosa de la corteza para las tres especies estudiadas, sugieren presentar mecanismos de reacción de pirólisis diferentes, según los datos publicados por Hirata y Nishimoto (1991); Ghetti (1996) y Carballo *et al.* (2004).

### **Espectroscopia Infrarrojo para la celulosa de la corteza**

Los espectros IR de las muestras de celulosa de la corteza de eucalipto, desde el punto de vista cualitativo, son muy semejantes a los de la madera de eucalipto (Bermello y Orea, 2000), es decir, están

constituidos fundamentalmente por celulosa y compuestos acetilados. La presencia de grupos carbonilo en estas muestras, muy posiblemente provienen de compuestos de oxidación de la celulosa como plantean Higgins & McKenzie (1958), formados en el tratamiento con  $\text{HNO}_3$  en el proceso de deslignificación.

En el Cuadro 3, se muestra la asignación de las frecuencias de grupos característicos más importantes en los espectros infrarrojos de las muestras de celulosa de corteza de eucalipto, que desde el punto de vista cualitativo son semejantes.

Las absorciones asignadas se pueden agrupar, al igual que en la celulosa de la madera en:

1. Absorciones características de grupos funcionales.
2. Absorciones características de la estereoquímica de los carbohidratos.

### **Análisis cuantitativo**

En el Cuadro 4 se muestran las intensidades normalizadas, en los espectros IR de las muestras estudiadas, cuatro absorciones son características, tres relacionadas con los grupos  $\text{CH}_2$  y la vibración de valencia del grupo carbonilo, es decir, la vibración de valencia asimétrica de los grupos  $\text{CH}_2$  en  $2900\text{ cm}^{-1}$  (banda N° 2), la vibración de doblaje de los  $\text{CH}_2$  en los grupos  $\text{CH}_2\text{OH}$  en los  $1428\text{ cm}^{-1}$  (banda N° 6), que es muy sensible a transformaciones estructurales en la celulosa, la absorción en la región de los  $900\text{ cm}^{-1}$ , de índole compleja (banda N° 14) y la vibración de valencia de enlaces carbonilo  $\text{C}=\text{O}$ , en los  $1736\text{ cm}^{-1}$  (banda N° 4).

De los datos del Cuadro 4, podemos apreciar que, al igual que en la celulosa de la madera (Carballo *et al.*, 2004), la vibración más intensa y con mayor variabilidad es la banda N° 6, en los  $1428\text{ cm}^{-1}$ , que indica la presencia de cambios estructurales en las diferentes muestras. Para esta especie la banda más intensa se encuentra en la porción del medio (55% de altura del tronco).

El comportamiento de la intensidad de la absorción en los  $904\text{ cm}^{-1}$  (banda N° 14) es similar a la de la vibración de doblaje de los  $\text{CH}_2$  en los  $1428\text{ cm}^{-1}$  (banda N° 6).

Una medida de la concentración de los grupos  $\text{CH}_2$ , es la intensidad de la vibración de valencia asimétrica en los  $2900\text{ cm}^{-1}$  (banda N° 2). Esta absor-

ción tiene su mayor intensidad en el medio (55% de altura). El comportamiento de las intensidades de esta banda, es muy diferente al de la celulosa de la madera (Carballo *et al.*, 2004).

La vibración de valencia del grupo carbonilo (banda N° 4), es la menos intensa de las bandas estudiadas, y la menos intensa para esta especie. La vibración de valencia del grupo carbonilo, en todos los casos estudiados, es el doble más intensa en las muestras de la corteza que en las de la madera, lo cual pudiera explicarse por la mayor accesibilidad que se presenta en la celulosa de la corteza (debido al menor contenido de lignina de la corteza). Lo que facilita la oxidación de la celulosa en la corteza y se dificulta en la madera.

En los espectros IR de todas las muestras se identifican las absorciones características de las estructuras patrones de la celulosa, sin diferencias cualitativas entre las muestras.

La banda en los 1428 cm<sup>-1</sup> disminuye su intensidad según se incrementa la altura del tronco comercial a la que se toma la muestra. En esta especie la mayor intensidad se localiza en el Medio (55% de altura del tronco).

El comportamiento de la intensidad de la banda de absorción en los 904 cm<sup>-1</sup> es similar a la de la vibración de doblaje de los CH<sub>2</sub> en los 1428 cm<sup>-1</sup>. La intensidad de la banda en los 2900 cm<sup>-1</sup>, tiene su mayor intensidad en el Medio (55% de altura del tronco comercial).

El comportamiento de las intensidades de la absorción en los 2900 cm<sup>-1</sup> en las muestras de corteza, difiere completamente al de la celulosa de la madera.

La aparición de grupos carbonilos en las muestras estudiadas parece estar fuertemente relacionada con la presencia de compuestos de oxidación de la celulosa.

## CONCLUSIONES

Se caracterizó químicamente la corteza de la especie de *E. citriodora* var. *citriodora*, procedente de la región de Macurije, en la Provincia de Pinar del Río, Cuba. Los resultados demostraron que:

1. Existe variabilidad en su composición química, a las diferentes alturas del tronco comercial estudiado.
2. Los estudios físico-químicos realizados a la celulosa de la corteza de *E. citriodora* var. *citriodora* a tres alturas del tronco comercial, (25%; 55%; 85%), demuestran la variabilidad estructural para estas macromoléculas en la especie estudiada, sugiriendo gran fortaleza de las interacciones polisacárido-polisacárido, y lignina-polisacárido en la pared celular.

## AGRADECIMIENTO

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, por la ayuda en la realización de los análisis IR y DSC.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERMELLO A., y U. OREA. 2000. Estudio por espectrometría infrarroja de la celulosa de la madera de tres especies de eucaliptos, ICIDCA, Sobre los Derivados. La Habana, Cuba.
- BLAND, D.E., 1985. "The composition and Analysis of eucalyptus wood". *Appita* 38: 291-294.
- CARBALLO L. R., U. OREA-IGARZA, E. CORDERO-MACHADO. 2004. Composición Química de Tres Maderas en la Provincia de Pinar del Río, Cuba a Tres Alturas del Tronco Comercial. Parte N° 1: *E. citriodora* var. *citriodora*. *Revista Chapingo*. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Vol.X: 57-62.
- CHANG, Y. P. 1954. "Anatomy of common north American pulpwood bark", STAP (14), TAPPI Press, Atlanta, G.A.,
- FRADINHO, D. M. 2002. Chemical characterisation of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal. *Industrial Crops and Products*, 16: 23-32.
- GARCÍA, J.K. 1996. The automated assignment of infrared spectrum:ASIR 1.1 software implementation, *Revista Ciencia*, 4 (2), (Apr-Jun).
- GARY M. 2004. Nitrogen cycling in a northern hardwood forest: Do species matter?. *Biogeochemistry* 67: 289-308.
- GHETTI, P. 1996. "Thermal analysis of biomass and corresponding pyrolysis products". *Fuell* 75: 565-573.
- GUARDIOLA, J. L. y G. L. AMPARO. 1995. *Fisiología Vegetal, Nutrición y Transporte*. Editora Síntesis,

Valencia, España. P.27-63.

HARDER, M.L. y D.W. EINSPAHR. 1980. *TAPPI* 63: 110.

HERRERA, H.A.. 1988. *Pirólisis de maderas argentinas*. Instituto Tecnología de la madera, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

HIGGINS H.G. and A.W. MCKENZIE. 1958. The structure and properties of paper. *Australian J. Appl. Sci.* 9: 167.

HIRATA, T. And T. NISHIMOTO. 1991. DSC,DTA and TG of celluloseuntreated and treated with flame-retardant. *Thermochimica Acta 193*, Elsevier Science Publ., Amsterdam, p. 99-106.

MARQUINA S., J. BONILLA-BARBOSA y L. ALVAREZ. 2005. Comparative phytochemical analysis of four Mexican *Nymphaea* species. *Phytochemistry*. Volume 66: 921-927.

MELCER, I. 1976. *Analytická Chémia Dreva*. SNTL-Alfa, Bratislava.

POO CH. 1995 “*Chemical composition of five 3 years-old hardwood trees*”. Wood and Fiber Science, Society of Wood Science and Technology.

PROGRAMA ASIR. 1997. V2.0, ICIDCA.

PROGRAMA SPSS for windows. 1997

STANLEY R. A. 2003. Extraction of phenolic antioxidants. Patent N° WO03042133, Horticulture and Food RES INST.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. 1999.TAPPI Test Methods; TAPPI Press, Atlanta, GA.