

# COMPOSICIÓN QUÍMICA DE TRES MADERAS EN LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO, CUBA A TRES ALTURAS DEL FUSTE COMERCIAL

## Parte N° 2: *Eucalyptus pellita* F. Muell

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

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

### RESUMEN

La Universidad de Pinar del Río financió un proyecto de Investigación para el estudio de la composición química de especies de rápido crecimiento con la finalidad de obtener información científica para el posible aprovechamiento industrial por lo cual se estudió la madera de *Eucalyptus pellita* F. Muell, a tres alturas del fuste comercial. Las muestras procedentes de la Empresa Forestal de Macurijes, en la provincia de Pinar del Río, Cuba, se utilizaron para la determinación de los contenidos porcentuales de los componentes de la pared celular, las sustancias extraíbles y las sustancias minerales, empleando las Normas TAPPI. Se estudió mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) la celulosa y las ligninas mediante espectroscopia IR. Los datos demuestran diferencias en los contenidos de sustancias solubles en etanol después de tolueno-etanol, en agua y los componentes de la pared celular. La banda de 1500 cm<sup>-1</sup> en el espectro IR refleja la presencia de kinos (derivados de compuestos fenólicos elaborados durante el metabolismo secundario de la planta) residuales en la lignina. El comportamiento térmico de la celulosa muestra diferencias con la altura del fuste comercial atribuido a variaciones con el grado de cristalinidad y grado de polimerización, demostrando un comportamiento similar a otras especies de *Eucalyptus* de esta misma región.

**PALABRAS CLAVES:** *Eucalyptus pellita*, celulosa, lignina, extraíbles, composición química

### CHEMICAL COMPOSITION OF THREE WOOD IN PINAR DEL RÍO CUBA AT THREE HEIGHTS OF THE COMMERCIAL BOLE. PART N° 2: *Eucalyptus pellita* F. MUELL.

### SUMMARY

The University of Pinar del Río financed a project of Investigation for the study of the chemical composition of species of fast growth with the purpose of obtaining scientific data for the possible industrial advantage thus studied the wood of *Eucalyptus pellita* F. Muell, to three heights of the commercial bole. The samples coming from the Forestry Company of Macurijes, in the province of Pinar del Río, Cuba, were determined the extractives substances, the percentage contents of the components of the cellular wall, and the mineral substances, using TAPPI Norms. The cellulose was studied by Differential Scanning Calorimetric (DSC) and the lignin was studied by means of IR spectroscopy, the data demonstrated differences in the contents of soluble substances in ethanol after toluene-ethanol, water and the components of the cellular wall. The band of 1500 cm<sup>-1</sup> in the IR spectroscopy reflected the presence of kinos (phenolic compound derivate by secondary metabolism of plants) residual in the lignin. The thermal behavior of the cellulose sample differences with the height of the commercial bole attributed to variations with the crystallinity and polymerization degree, demonstrating a behavior similar to other species of *Eucalyptus* of this same region.

**KEY WORDS:** *Eucalyptus pellita*, cellulose, lignin, extractives, chemical composition

### INTRODUCCIÓN

En Cuba los estudios de la composición química de la madera son escasos y se limitan a estudios necesarios para algunas aplicaciones en el orden tecnológico; sin embargo, en Pinar del Río el Centro de Estudios Forestales ha desarrollado una serie de investigaciones que objetivan el conocimiento de las maderas de rápido crecimiento para

su posible aprovechamiento, sobre todo, en la industria del papel, industria hidrolítica energética, etc. El *E. pellita* F. Muell, es un árbol que crece en la zona de Pinar del Río presenta abundancia y adaptabilidad y puede ofrecer grandes volúmenes de madera por hectárea, es poco utilizado y la literatura refiere ser útil en la industria de celulosa y papel. No es posible decir que en Cuba se realice

un amplio uso de las maderas de esta especie, pues se ha restringido al uso de postes para tendido eléctrico, madera para combustible, construcción de casas para curado, cujes para tabaco, fabricación de muebles (chapas curvado-encolado). De acuerdo a datos ofrecidos por FAO (1999), las previsiones sobre la producción y consumo mundiales de productos forestales hasta el año 2010 tendrá un crecimiento con relación a 1996 del 24.6 % y dentro de todos los productos será la industria del papel y el cartón la que crecerá en mayor proporción con un 39 % y un crecimiento anual del 2.4 %.

Esta industria en Cuba ha existido a partir de la fibra del bagazo de la caña de azúcar y se ha visto muy afectada por la crisis económica de los últimos diez años, donde solamente se han estado importando a razón de 3,000 m<sup>3</sup> de pasta para papel y 7,000 m<sup>3</sup> de papel y cartón de diferentes tipos, con una producción de 52,000 m<sup>3</sup> de pasta de producción nacional (FAO, 1999).

En este sentido tiene una gran significación las investigaciones que se enmarcan en el conocimiento de diferentes materias primas que puedan ser convertidas en pastas mecánicas y químicas para esta industria. Por lo que el objetivo del trabajo consiste en estudiar la composición química e inferir sobre las características estructurales de la lignina y la celulosa de la madera de esta especie para su posible utilización como material fibroso.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon diez árboles de *E. pellita* F. Muell con características morfológicas semejantes, en edades comprendidas entre 20 y 22 años, procedentes de la Empresa Forestal Integral Guanahacabibes, de la provincia de Pinar del Río, Cuba. Los árboles presentaron un diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio de 18 cm, altura total de 15 m, y una longitud del fuste comercial de 10 m, desarrollados en un suelo esquelético, de calidad II.

Se tomaron 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)

Las técnicas empleadas en el análisis químico para la madera de esta especie están referidas en la Parte N° 1 (Composición Química de la madera de *Corymbia citriodora*, a tres alturas del fuste comercial.)

## RESULTADOS

**CUADRO 1. Composición química de la madera de *Eucalyptus pellita* F. Muell a tres alturas del fuste. (25, 55 y 85%).**

Determinaciones (%)	25	55	85
Solubilidad en Tolueno Etanol (2:1)	4.58 a	4.50 a	4.46 a
Solubilidad en Etanol después de Tolueno-Etanol (2:1)	0.91 b	0.61 c	2.00 a
Solubilidad en agua a 95 °C después de Tolueno-Etanol (2:1) y Etanol 95 %	0.95 c	1.37 b	1.62 a
Solubilidad en Etanol 95 %	6.77 b	7.72 a	5.48 c
Solubilidad en agua a temperatura ambiente	6.26 a	7.40 a	7.95 a
Solubilidad en agua a 95 °C	5.48 a	4.67 a	6.87 a
Solubilidad en NaOH 1 %	19.13 a	20.12 a	18.77 a
Pentosanos	20.80 a	20.40 ab	19.50 b
Lignina insoluble en ácido	21.30 a	19.38 b	18.51 c
Celulosa	40.91 c	43.19 b	44.85 a
Hemicelulosas	37.91 a	37.80 a	36.63 b
Holocelulosas	78.70 c	80.68 b	78.70 a
Contenido de sustancias minerales	0.17 a	0.23 a	0.23 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 *E. pellita* F. Muell a tres alturas del fuste comercial. (25, 55 y 85%).**

Señal	Alturas		
	25	55	85
1- Temperatura (oC) ΔH (J/g)	141.2 + 86.0	145.1 + 77.8	150.5 + 85.9
2- Temperatura (oC) ΔH (J/g)	334.8 + 191.2	348.9 + 88.1	328.1 + 88.9
3- Temperatura (oC) ΔH (J/g)	351.5 - 25.0	-	358.6 - 34.9

**CUADRO 3. Asignación de las bandas del espectro infrarrojo de ligninas de eucalipto.**

Núm.	Asignación	cm <sup>-1</sup>
1	v OH (enlace de hidrógeno)	3,423 ± 14
2	v =C-H anillo aromático	3,010 h
3	v <sub>as</sub> CH <sub>2</sub> (guaiacil - siringil)	2,936 ± 1
4	v <sub>s</sub> CH <sub>2</sub> (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-sustituida (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 <sub>as</sub> CH <sub>2</sub>	1,457 ± 1
10	v C=C anillo aromático (guaiacil – siringil)	1,424 ± 1
11	δ <sub>s</sub> CH <sub>2</sub>	1,370 h
12	δ C-OH fenólico	1,340 h
13	v <sub>s</sub> N anillo siringílico y v C-O	1,314 ± 1
14	a) v <sub>s</sub> N anillo guaiacílico y v C-O b) v <sub>as</sub> C-O-C éster aromático	1,285 ± 3
15	v <sub>s</sub> N anillo siringílico y v C-O	1,225 ± 3
16	v <sub>s</sub> C-O-C éster aromático	1,107 ± 1
17	a) δ C-H anillo aromático guaiacílico 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
1	E. pellita Base. (25 %)	104.4600	21.30
2	E. pellita Medio. (55 %)	104.1172	19.32
3	E. pellita Ápice. (85 %)	106.3391	18.51
	Promedio	104.9721	19.71
	Desv. Esstandar	2.8617	1.17

## DISCUSIÓN

Los estudios de la composición química de la madera demuestran que las sustancias extraíbles en diferentes sistemas de solventes no muestran diferencias estadísticas significativas excepto en las sustancias solubles en etanol al 95 % después de la extracción con el sistema de solventes tolueno: etanol (2:1), agua y etanol al 95 %.

Las sustancias solubles en agua a 95 °C después de la extracción con tolueno: etanol (2:1) y etanol al 95 %, presenta valores bajos, con diferencias estadísticas significativas a las tres alturas del fuste, si se comparan con los valores obtenidos por las sustancias solubles en agua a 95 °C directamente de la madera. En ambos casos

los mayores valores se presentan al 85 % de la altura del fuste comercial.

La solubilidad de la madera en agua a temperatura ambiente, muestra valores entre 6.26 y 7.95 %, sin diferencias estadísticas significativas entre las tres alturas estudiadas.

Al cuantificar las sustancias solubles en agua a 95 °C los valores oscilan entre 4.67 y 6.87 %, los que son menores si se comparan con los solubles en agua a temperatura ambiente, lo que sugiere que el aumento de la temperatura influye negativamente en la solubilidad de las sustancias fenólicas y polifenólicas en esta especie, lo que puede estar asociado a reacciones de condensación de estas sustancias dada su complejidad estructural y por tanto disminuir su solubilidad con el aumento de la temperatura. (Orea, 2000; Pereira, 1984; Sardinha, 1979)

Los componentes de la pared celular: celulosa, lignina, pentosanos y hemicelulosas, así como polisacáridos totales muestran diferencias con las alturas del fuste.

Los contenidos porcentuales de pentosanos muestran una disminución hacia la parte superior del fuste comercial.

El contenido de lignina manifiesta una tendencia a la disminución con la altura del fuste comercial para esta especie y muestran valores entre 18.51 y 21.30 %, con diferencias estadísticas significativas a las tres alturas estudiadas. Estos valores se encuentran en correspondencia con otras especies de eucaliptos, según los datos publicados por Pereira (1984), Sardinha (1979) para *el E. globulus* Labill y en el orden de las especies de eucaliptos estudiadas por Rodríguez (1997; 1998).

Esta tendencia a la disminución, está relacionada con el mayor porcentaje de madera juvenil en la parte superior del fuste comercial y que por tanto se encuentra menos lignificada, según los datos mediante espectroscopia IR que se expresan en el cuadro IV

La celulosa de la madera en esta especie presenta los mayores valores en la parte superior del fuste comercial (85 %), y los menores valores al 25 % de la altura del fuste comercial, mostrando diferencias estadísticas significativas a las tres alturas estudiadas. Estos valores se encuentran dentro del rango de los publicados por Bland (1985) para nueve especies de eucaliptos. El incremento de los contenidos de celulosa con la altura del fuste podría estar asociado al mayor porcentaje de madera juvenil en la parte superior, que al encontrarse las células menos lignificadas (lignina menos reticulada) la accesibilidad química a la celulosa es mayor.

Los contenidos de holocelulosa y hemicelulosa encontrados en esta especie son adecuados para especies

de latifolias y del género eucalyptus. Las hemicelulosas presentan diferencias estadísticas significativas del 85 % de altura del fuste, con el 25 y 55 % de altura, las holocelulosas presentan diferencias estadísticas significativas a las tres altura del fuste comercial.

Las sustancias inorgánicas no manifiestan diferencias estadísticas significativas con la altura del fuste comercial, con valores bajos, los cuales se corresponden con los datos publicados por Bland (1985), para otras especies del mismo género.

En general, *E. pellita* F. Muell presenta variaciones en su composición química a las distintas alturas del fuste comercial estudiado, con diferencias estadísticas en el contenido de sustancias solubles en etanol después de tolueno-etanol (2:1), agua a 95 °C después de tolueno-etanol (2:1) y etanol al 95 %, así como en los contenidos de pentosanos y componentes de la pared celular (lignina y polisacáridos totales).

Los resultados obtenidos mediante la calorimetría Diferencial de Barrido sugieren para la especie *E. pellita* F. Muell que la señal 1, puede ser asociada a la presencia de hemicelulosas, las que se encuentran a las tres alturas del fuste estudiadas, y que pueden ser atribuidas a la fortaleza de los complejos polisacárido-polisacárido entre la celulosa y las hemicelulosas presentes. La agudeza de los picos al 25 % sugiere además posibles diferencias en composición de las hemicelulosas a las diferentes alturas, siendo más homogénea su composición al ser los picos más agudos, y más heterogénea al ser los picos más amplios. Esta diferencia estructural también es sugerida al observar los valores de las variaciones de entalpía (DH +), con valores diferentes a las alturas analizadas. Resultados que están de acuerdo con los obtenidos por Ghetti, Ricca, and Luciana (1996) al realizar los análisis térmicos de la biomasa vegetales e Hirata and Nishimoto (1991) al estudiar los DSC para celulosa no tratada.

Estas diferencias estructurales podrían estar relacionadas con el grado de polimerización y la cristalinidad de la celulosa a las diferentes alturas del fuste comercial, además del carácter termodinámico del proceso, el intervalo de temperatura de óptimo aprovechamiento energético.

### **Análisis Infrarrojo de la lignina de la madera**

En el cuadro III se muestra la asignación de las frecuencias de grupo características más importantes en los espectros Infrarrojo de las muestras de lignina de *E. pellita* F. Muell, que desde el punto de vista cualitativo no presentan diferencias. Resultados similares han sido obtenidos para otras especies de eucaliptos en la provincia de Pinar del Río, Cuba.

Las absorciones características asignadas se pueden clasificar como absorciones características de los grupos funcionales presentes en la estructura de las ligninas.

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, siendo atribuido al método empleado para la separación de las ligninas, el cual debe hidrolizar las hemicelulosas presentes en la estructura de estas maderas.

### **Análisis comparativo**

Para comparar los contenidos de lignina en las muestras, se calculan las intensidades normalizadas de la banda N°. 8 del cuadro IV en los espectros IR de la lignina a las tres alturas del fuste comercial.

La absorción N°. 8 se asigna a una vibración de valencia del anillo aromático, muy característica desde el punto de vista espectroscópico, que se refiere Sarkanen, (1971) y Rodríguez (1998) como muy peculiar de la lignina.

Los datos del cuadro IV nos indican que para la especie *E. pellita* F. Muell, el contenido de lignina disminuye ligeramente 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.

En la especie *E. pellita* F. Muell, la intensidad de la absorción en los 1500 cm<sup>-1</sup> a lo largo del fuste es muy semejante, con un ligero incremento hacia el ápice. Esta especie de eucaliptos es particularmente abundante en kinos, derivados de compuestos fenólicos elaborados durante el metabolismo secundario de la planta por lo que, en este caso, la intensidad de la banda medida refleja la presencia no sólo de la lignina, sino también de los kinos residuales no extraídos totalmente presentes en la muestra, ya que en el proceso de separación de la lignina no se realizó el tratamiento con NaOH, recomendado por Ona (1995) y Pereira (1988).

Los resultados del estudio de la composición Química de especies de rápido crecimiento en Pinar del Río sientan las bases teóricas para el aprovechamiento industrial de estas especies.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su más profundo agradecimiento 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

- BLAND, D. E. 1985. The composition and Analysis of eucalyptus wood  
Revista Appita, 38 (4): 291-294,
- FAO. 1999. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia: 155.
- GHETTI, P.; RICCA, L.; LUCIANA, A. 1996. Thermal analysis of biomass and corresponding pyrolysis products. *Fuell.* 75(5): 565-573.
- HIRATA, T.; NISHIMOTO, T. 1991. DSC,DTA and TG of cellulose untreated and treated with flame-retardant., *Thermochemica Acta* 193, Elsevier Science Publ. Amsterdam: 99-106.
- ONA, T. 1995. Small scale method to determine the contents of wood components from multiples eucalyptus samples. *TAPPI Journal*, 72(3): 121-126.
- OREA, U. 2000. Caracterización química de la Madera y la corteza de tres especies de eucalyptus en la provincia de Pinar del Río, con fines Industriales" Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- PEREIRA, H.; SARDINHAS, R. 1984. Chemical composition of *E. globulus* Labill. *Revista Appita* 37(8): 661-664.
- PEREIRA, H. 1988. Variability in the chemical composition of plantation Eucalypts (*E. globulus* Labil.). *Wood and Fiber Science.* 20(1): 82-90.
- RODRÍGUEZ, J.; GRACA, J.; PEREIRA, H. 1997. Influence of extractives and particle size on the FTIR lignin content determination in eucalypts wood, Conferencia IUFRO sobre Silvicultura y Mejoramiento de Eucaliptos: 242-245.
- RODRÍGUEZ, J.; FAIX, O.; PEREIRA, H. 1998. Determination of lignin contents of *E.globulus* wood Using FTIR spectroscopy, *Holzforchung.* 52(1): 46-50.
- SARDINHAS, R.; MELO, J. R.; MORAIS, M. H. A. 1979. *Anais Instituto Superior de Agronomia Lisboa, XXXVIII:* 91.
- 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.