

# COMPOSICIÓN QUÍMICA DE TRES MADERAS EN LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO, CUBA A TRES ALTURAS DEL FUSTE COMERCIAL Parte 4: Estudio comparativo de la composición química

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

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

## RESUMEN

Se estudió comparativamente, mediante análisis estadístico la composición química de la madera de *E. saligna* Smith, *Corymbia citriodora* y *E. pellita* F. Muell, a tres alturas del fuste comercial (25, 55 y 85 %) en muestras procedentes de las Empresas Forestales Integrales (EFI) de Macurije y Guanahacabibes en la provincia de Pinar del Río, Cuba. Los resultados obtenidos de la composición química, se trataron mediante un programa estadístico SPSS para Windows, donde no todas las variables analizadas muestran influencias estadísticas en la caracterización química de las especies. Los resultados manifiesta una mejor agrupación con respecto a la especie que a la altura del fuste comercial entre las especies. La madera de *Corymbia citriodora* presenta los mayores contenidos de celulosa, los menores contenidos de lignina y de sustancias extraíbles, siendo la especie más atractiva desde el punto de vista químico para ser utilizada en la Industria de celulosa y papel.

**PALABRAS CLAVES:** eucaliptos, composición química, celulosa, pulpa, papel

## CHEMICAL COMPOSITION OF THREE WOOD IN PINAR DEL RÍO CUBA AT THREE HEIGHTS OF THE COMMERCIAL BOLE. Part 4: COMPARATIVE STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITION

## SUMMARY

The comparative study, by means of statistical analysis the chemical composition of the wood of *E. saligna* Smith, *Corymbia citriodora* and *E. pellita* F. Muell to three heights of commercial bole (25, 55 y 85 %) in samples coming from Forestry Companies of Macurije and Guanahacabibes in Pinar del Río province of Cuba. The results obtained of the chemical composition, treated by means of for a statistical program SPSS for Window, where all the analyzed variables do not have statistical influences in the chemical characterization of the species. The results show one better grouping with to the species that to the height of the commercial bole between the species. The wood of *Corymbia citriodora* presents the greater contents of cellulose, minors contained of lignin and extractives substances, being the most attractive species from the chemical point of view to be used in the Industry of cellulose and paper

**KEY WORDS:** eucalyptus, chemical composition, cellulose, pulp, paper

## INTRODUCCIÓN

La provincia de Pinar del Río cuenta con 38.6 % de su superficie cubierta de bosques, ubicada entre las más importantes reservas forestales del país, destacando en primer lugar las coníferas, y en segundo por su abundancia el género *Eucalyptus*, con 17,318.3 hectáreas, distribuidas en ocho Empresas Forestales Integrales (Programa de Desarrollo Económico Forestal para el año 2015, 1998). Dispone de volúmenes de existencias comerciales en formación entre 450 y 470 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> para las especies de

*Corymbia citriodora*, *E. pellita* F. Muell y *E. saligna* Smith, que son las especies que han presentado mejor adaptabilidad a las condiciones climáticas de la provincia.

El Programa de Desarrollo Económico Forestal para el año 2015 (1998) plantea que en la actualidad sólo 13 % de la madera es destinada a la industria, y se prevé llegar a 52 % al final del período además de incrementar y/o instalar plantas de tableros de partículas de madera de eucaliptos, así como una planta de celulosa de 50 mil toneladas anuales.

Tomando estos aspectos como premisa y considerando la empresa, como objetivo primordial, como plantea el Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica Cubano el insuficiente conocimiento de la composición química de la madera de las especies de *Eucalyptus pellita* F. Muell; *C. citriodora* y *Eucalyptus saligna* Smith limita la toma de decisiones para incrementar su aprovechamiento en la industria de celulosa y papel, por lo que estudiar comparativamente la composición química de la madera de las especies de *Eucalyptus pellita* F. Muell; *Corymbia citriodora* y *Eucalyptus saligna* Smith mediante análisis estadísticos, permitirá inferir sobre la variabilidad entre especies y alturas de una misma especie e incrementar los datos científicos de estas maderas para sus posibles usos en la industria de celulosa y papel.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis estadísticos realizados para el estudio de la composición química de la madera, tomando como factores las especies de *E. saligna* Smith, *E. pellita* F. Muell y *Corymbia citriodora*; y las alturas del fuste comercial (25; 55; 85 %),

siempre que las variables se ajustaron a la distribución normal, se utilizaron 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.

Se realizaron los análisis de discriminante (multivariado), análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple y doble.

Las variables empleadas en los análisis fueron todas las determinaciones realizadas en el análisis químico.

Para todos los análisis realizados se utilizó el paquete estadístico SPSS. Versión 8 de diciembre 1997.

Los resultados de la composición química de las tres especies de *eucalyptus* fueron obtenidos mediante las Normas TAPPI, referenciadas por Orea *et al.* (2000); Orea *et al.* (2004 a) en prensa, Orea *et al.* (2004 b) en prensa Carballo (2004).

## 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 con base en 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. Composición química de la madera de *Eucalyptus citriodora* Hook a tres alturas del fuste 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)	0.77 c	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 temperatura 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 sustancias 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 y SNK para  $\alpha < 0,05$ .

**CUADRO 3. Composición química de la madera de *Eucalyptus saligna* Smith a tres alturas del fuste (25, 55 y 85 %).**

Determinaciones (%)	25 %	55 %	85 %
Solubilidad en tolueno etanol (2:1)	3.44 c	4.05 b	8.58 a
Solubilidad en etanol después de tolueno-etanol (2:1)	2.31 a	1.45 c	1.93 b
Solubilidad en agua 95 °C después de tolueno-etanol (2:1) y etanol al 95 %	0.24 c	0.29 b	0.54 a
Solubilidad en etanol	2.48 c	5.39 b	10.65 a
Solubilidad en agua temperatura ambiente	4.69 b	4.41 b	5.89 a
Solubilidad en agua a 95 °C	6.93 a	6.71a	5.86 b
Solubilidad en NaOH 1 %	21.22 c	26.33 b	30.23 a
Pentosanos	19.20 a	14.15 c	14.85 a
Lignina insoluble en ácido	24.90 c	25.40 b	28.50 a
Celulosa	42.03 a	41.57 a	41.87 a
Hemicelulosas	33.14 a	32.56 a	29.79 a
Holocelulosas	75.15 a	74.65 b	71.50 c
Contenido de sustancias minerales	0.26 ab	0.23 b	0.30 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 y SNK para  $\alpha < 0.05$ .

**CUADRO 4. Análisis de varianza bifactorial para la composición química de la madera.**

	Grados de Libertad	Solubles en NaOH 1 %	Solubilidad en Agua 95 °C	Solubilidad en Etanol 95 %	Solubilidad en T- E (2:1)	Soluble agua Seriada	Soluble Eta.95 % después de T-E (2:1)
Especie (A)	2	7.45.10 <sup>-2</sup> ***	34.151 ***	39.697 ***	0.360 ***	0.689***	1.338 ***
Altura (B)	2	2.41.10 <sup>-2</sup> ***	3.325 **	6.694 ***	6.24.10 <sup>-2</sup> ***	8.20.10 <sup>-2</sup> ***	1.714 ***
A x B	4	6.73.10 <sup>-3</sup> ***	3.161 ***	29.189 ***	9.73.10 <sup>-2</sup> ***	4.34.10 <sup>-2</sup> ***	0.717***
Error	18	1.36.10 <sup>-3</sup>	0.589	7.88.10 <sup>-2</sup>	5.32.10 <sup>-4</sup>	9.09.10 <sup>-4</sup>	41.05.10 <sup>-2</sup>

\*\*\*: Significación para  $\alpha < 0.05$

**CUADRO 5. Organización de la significación de los tratamientos para las diferentes variables.**

Determinaciones	(Pruebas de Duncan y SNK).									
Solubles en agua a 95 %	SB a	PA a	SM a	SA ab	PB abc	PM bc	CB d	CA e	CM e	
Soluble en NaOH 1 %	SA a	SM a	SB b	CA bc	PM bc	PB bc	PB bc	CM c	CB d	
Solubles en etanol 95 %	SA a	PM b	PB c	PA d	SM d	CB e	CA f	SB f	CM g	
Soluble en Tolueno-Etanol (2:1)	SA a	PB b	PM b	PA b	SM c	CB d	SB d	CA e	CM f	
Soluble en Etan.después de T-E (2:1)	SB a	PA b	SA b	CA b	SM c	CM d	PM e	CM ef	PM f	
Sol.en agua 95 °C desp.de T-E(2:1) y Etanol 95 %	SA a	CB a	CM a	CA f	SM c	SB c	PA d	PM e	PB f	
Pentosanos	PB a	PM a	PA b	SB b	CB c	CM c	CA d	SA d	SM e	
Lignina	SA a	SM b	SB c	PB d	CM e	PM f	PA g	PB g	CA h	

Nota: porcentajes en base a masa absolutamente seca. Letras (minúsculas) diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre medias según la prueba de Rango Múltiple de Duncan, Kruskal-Wallis y SNK para  $\alpha < 0.05$ . Leyenda: S (*E.saligna*), C (*C.citriodora*), P (*E.pellita*), B (25 % altura), M (55 % altura), A (85 % altura).

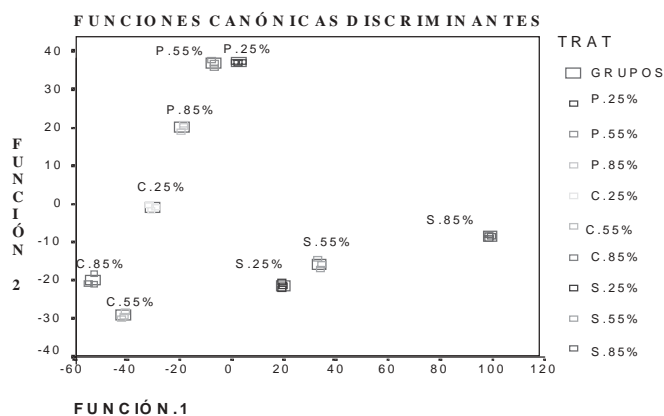


Figura 1. Análisis discriminante por altura entre las especies.

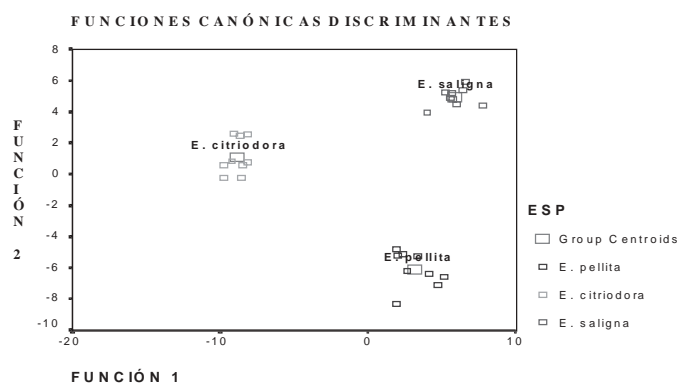


Figura 2. Análisis discriminante por especie.

## DISCUSIÓN

La prueba Kolmogorov-Smirnov para obtener criterio de normalidad, realizadas a las determinaciones mostradas en los Cuadros 1, 2 y 3 que intervinieron en el análisis químico de la madera, no se cumplieron para un nivel de significación de 95 % en las variables, contenido de lignina y contenido de pentosanos.

El análisis discriminante (multivariante) por especie y altura con todas las variables originan ocho funciones canónicas discriminantes, correspondientes a las variables:

Sustancias solubles en tolueno-etanol (2:1), sustancias solubles en etanol a 95 % después de la extracción con tolueno - etanol (2:1), sustancias solubles en agua a 95 °C después de la extracción con tolueno-etanol (2:1) y etanol (95 %), sustancias solubles en etanol a 95 %, sustancias solubles en agua a 95 °C, sustancias solubles en NaOH al 1 %, contenido de lignina y contenido de pentosanos.

Las funciones 1 y 2 poseen el mayor coeficiente de correlación canónica y el mayor porcentaje de varianza,

explicando entre ambas 95.7 % de varianza acumulada entre ambas funciones. Además se obtuvieron los coeficientes normalizados de las funciones canónicas discriminantes obtenidas.

Con las funciones canónicas discriminantes 1 y 2 se obtiene un gráfico de coordenadas  $f_2$  vs  $f_1$  para las diferentes alturas de las especies estudiadas (Figura 1), donde se puede observar que no existe un buen agrupamiento de la composición química por altura entre las especies.

Del análisis discriminante por especie, se obtienen dos funciones canónicas discriminantes, con 66.2 y 33.8 % de varianza respectivas a 100 % de varianza acumulativa entre ambas funciones.

También se obtuvieron los coeficientes normalizados de las funciones canónicas discriminantes para las variables dependientes por especie.

Con las funciones canónicas discriminantes 1 y 2, se obtiene un gráfico de coordenadas  $f_2$  vs  $f_1$  para las diferentes especies (Figura 2), en el que se observa la clara delimitación que se establece al estudiar la composición química de la madera con la especie.

La clasificación de los resultados por especie, considerando la agrupación original, es de 100 % de membresía de cada grupo en función de las funciones canónicas obtenidas.

Al realizar el análisis discriminante en función de la altura, se encontró que la solubilidad en etanol al 95 % después de tolueno-etanol (2:1) es la que influye significativamente en la diferenciación de la discriminación de los resultados en función de la altura, por poseer una  $\lambda = 0,004$  y la prueba de Lambda de Wilks de 0.626.

Esta variable origina una función canónica discriminante, cuyo coeficiente canónico discriminante estandarizado es de 2.046.

La clasificación de los resultados por altura, considerando la agrupación original, es de 48.1 % de la membresía de cada grupo se encuentra en función de las funciones canónicas obtenidas.

El estudio de la composición química de la madera de las especies *E. saligna* Smith, *Corymbia citriodora* y *E. pellita* F. Muell a tres alturas del fuste comercial (25, 55 y 85 %) encuentran una clasificación de su membresía de 100 % al considerar la especie y de 48.1 % al considerar la altura.

El Cuadro 4, muestra el análisis de varianza bifactorial para la composición química de la madera de las especies *E. Saligna* Smith, *Corymbia citriodora* y *E. pellita* F. Muell

a tres alturas del fuste comercial donde se observan diferencias significativas para todas las variables, con un mayor nivel de significación para la especie y la interacción especie-altura.

La prueba de Rango Múltiple de Duncan considerando la especie y la altura, así como la prueba de Student Newman Keules (SNK), se muestran en el Cuadro 5, donde se establece la organización de la significación de los tratamientos para las diferentes variables, concluyendo que los mayores contenidos de sustancias solubles en agua a 95 °C corresponden a la especie *E. saligna* Smith (B) a 25 % de la altura del fuste comercial, sin diferencias estadísticas significativas con el *E. pellita* F. Muell (A) a 85 % del fuste y el *E. saligna* Smith (M) a 55 % de la altura del fuste. Los mayores contenidos de sustancias solubles en NaOH (1 %) corresponden a la especie de *E. saligna* Smith (A) a 85 % del fuste, sin diferencias estadísticas significativas con 55 % de la altura del propio fuste comercial. Las sustancias solubles en etanol a 95 %, las sustancias solubles en tolueno-etanol (2:1), las sustancias solubles en etanol a 95 % después de tolueno-etanol (2:1), y los contenidos de lignina presentan los mayores porcentajes en la especie *E. saligna* Smith (A) a 85 % de altura del fuste comercial. Los mayores contenidos de sustancias solubles en agua a 95 °C después de tolueno-etanol (2:1) y etanol a 95 % corresponden a la especie *E. saligna* Smith (A) a 85 % de la altura del fuste comercial, sin diferencias estadísticas significativas con el *Corymbia citriodora* (B) a 25 y 55 % de altura del fuste comercial.

Los mayores contenidos de pentosanos corresponden a la especie de *E. pellita* F. Muell (B) 25 % de altura del fuste comercial (ver Cuadro 5), sin diferencias estadísticas significativas con la misma especie 55 % de altura.

Los resultados de la composición química de la madera para las especies de *E. pellita* F. Muell, *Corymbia citriodora* y *E. saligna* Smith, a tres alturas del fuste comercial, (25, 55 y 85 %), demuestran que no todas las variables analizadas poseen influencias estadísticas en la caracterización química de las especies. Se manifiesta una mejor agrupación de los resultados cuando es analizada la

especie que cuando se analiza la altura del fuste comercial entre las especies.

Los resultados del análisis de la composición química entre las especies de *E. pellita* F. Muell, *Corymbia citriodora* y *E. saligna* Smith, demuestran que la madera de *Corymbia citriodora* presenta los mayores contenidos de celulosa, menores contenidos de lignina y sustancias extraíbles, siendo la especie más atractiva desde el punto de vista químico para ser utilizada en la industria de celulosa y papel.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a la UPR de Pinar del Río por el financiamiento del proyecto de investigación. Al Ing. Noel Ferro y al Dr José F. Lastra por la colaboración mostrada durante el análisis de los resultados.

## LITERATURA CITADA

- CARBALLO-ABREU, L. R.; OREA-IGARZA, U.; CORDERO-MACHADO, E. 2004. Composición Química de Tres Maderas en la Provincia de Pinar del Río, Cuba a tres alturas del fuste comercial. Parte 1: *Corymbia citriodora*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 10(1): 57-62.
- 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.
- OREA-IGARZA, U.; CARBALLO-ABREU, L. R.; CORDERO-MACHADO, E. 2004a. Composición Química de Tres Maderas en la Provincia de Pinar del Río, Cuba a tres alturas del fuste comercial. Parte: 2. *Eucalyptus pellita* F. Muell. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 10(1): 51-55
- OREA-IGARZA, U.; CARBALLO-ABREU, L. R.; CORDERO-MACHADO, E. 2004b. (*in press*) Composición Química de la madera de *E. saligna* Smith, a tres alturas del fuste comercial. (Parte Núm. 3). Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 10(2).
- PROGRAMA DE DESARROLLO ECONÓMICO Y FORESTAL HASTA EL AÑO 2015. 1998 MINAGRI.
- PROGRAMA SPSS FOR WINDOWS. 1997.
- TAPPI TEST METHODS. 1999. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta.