

Estudio comparativo de la composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos a tres alturas del fuste comercial

Comparative study of chemical composition of bark of three species of eucalyptus to three heights of commercial bole.

U. OREA-IGARZA¹; E. CORDERO MACHADO¹ y R. GOMEZ MARIN¹

Recibido en junio de 2006; aceptado en noviembre de 2006

RESUMEN

Se estudió comparativamente, la composición química de la corteza de *E. saligna* Smith, *Corymbia citriodora* y *E. pellita* F. Muell a tres alturas del fuste comercial (25%; 55%; 85%) en muestras procedentes de la Empresas Forestales Integrales (EFI) de Macurije y Guanahacabibes en la provincia de Pinar del Río, Cuba. Los resultados obtenidos de la composición química, se procesaron mediante el programa estadístico SPSS para Windows, donde no todas las variables analizadas mostraron influencias estadísticas en la caracterización química de la corteza de estas especies. Los resultados manifiestan una mejor agrupación con respecto a la especie que a la altura del fuste comercial entre las especies, mostrando la gran variabilidad de la composición química de la corteza entre estas especies. La corteza de *E. saligna* Smith presenta los mayores contenidos de sustancias solubles en agua a 95°C, etanol al 95%, holocelulosas, sustancias solubles en NaOH al 1% y en hexano, seguido del *Corymbia citriodora* y el *E. Pellita* F. Muell, siendo la especie más atractiva desde el punto de vista químico para ser utilizada en la Industria como fuente de taninos.

Palabras clave: eucaliptos, corteza, composición química, altura del fuste, taninos

ABSTRACT

Was studied comparatively, the chemical composition of the bark of *E. saligna* Smith, *Corymbia citriodora* and *E. pellita* F. Muell to three heights of the commercial bole (25%; 55%; 85%) in samples coming from the Integral Forest Companies (EFI) of Macurije and Guanahacabibes in the county of Pinar del Río, Cuba. The results obtained of the chemical composition were processed by means of the statistical program SPSS for Windows, where not all the analyzed variables showed statistical influences in the chemical characterization of the bark of these species. The results manifest a better grouping with respect to the species that to the height of the commercial bole among the species, showing the great variability of the chemical composition of the bark among these species. The bark of *E. saligna* Smith presents the biggest contents of soluble substances in water at 95°C, ethanol to 95%, holocelluloses, soluble substances in NaOH at 1% and in hexane, followed by the *Corymbia citriodora* and *E. pellita* F. Muell the, being the most attractive species from the chemical point of view how tannin raw material to be used in the Industry.

Keywords: eucalyptus, bark, chemical composition, heights of bole, tannin

1. INTRODUCCION

Según Goes (1977) la corteza puede representar del 15 al 23% del peso seco del fuste del árbol. Otros trabajos refieren que factores genéticos son altamente significativos en esta variación, según afirma Almeida. *et. al.*, (1995).

¹ Profesores Investigadores del Centro de Estudios Forestales. Universidad de Pinar del Río. CUBA
Calle Martí # 270 final. E- mail: orea@af.upr.edu.cu

En la actualidad los conocimientos sobre la anatomía y propiedades físicas de la corteza de eucaliptos no son suficientes, y constituyen en muchos casos, una causa para la no utilización de las potencialidades de este recurso como materia prima. No obstante, Quilhó. (1997) afirma, que la corteza de eucalipto permite encarar su utilización como una nueva fuente de material fibroso.

Vázquez. et. al., (1987) plantea que la composición química de la corteza depende de muchos factores, tales como: localización, edad, condiciones de crecimiento del árbol y los métodos de obtención de las muestras.

La provincia de Pinar del Río cuenta volúmenes de existencias comerciales en formación entre 450 y 470 m³ / ha 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. (Aldana. et al 2005)

El Programa de Desarrollo Económico Forestal para el año 2015 (1998) plantea que sólo el 13 % de la madera es destinada a la industria, y se prevé llegar al 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. Estos datos pronostican la generación de un gran cúmulo de corteza de estas especies que por demás ya están ocasionando inconvenientes como material de desecho.

El objetivo del trabajo consiste en estudiar la composición química de la corteza de las especies de *E. pellita* F. Muell; *Corymbia citriodora* y *E. saligna* Smith a tres alturas del tronco e inferir sobre la variabilidad de su composición química entre especies y alturas de una misma especie e incrementar los datos científicos de estas cortezas para su posible utilización.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se emplearon diez árboles de cada especie con características morfológicas semejantes, en edades comprendidas entre 20 y 22 años, procedentes de las regiones de Macurije, (*E. saligna* Smith, y *Corymbia citriodora*) y Guanahacabibes (*E. pellita* F. Muell) ubicadas en la zona occidental de la provincia de Pinar del Río. Cuba. La Tabla 1 muestra las características morfológicas más importantes de los árboles muestreados desarrollados en un suelo ferralítico, de calidad II.

Tabla 1. Valores medios de altura total, diámetro y longitud del fuste de los árboles muestreados.

Eepecie	Altura Total (m)	Diámetro (cm)	Longitud Fuste comercial. (m)
<i>E. saligna</i> Smith	14	17	8
<i>Corymbia citriodora</i>	18	25	12
<i>E. pellita</i> F. Muell	15	18	10

Se tomaron rodajas de 20cm 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 guardados 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°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 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 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 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- 222om-98. (TAPPI., 1999)

Determinación del contenido de Celulosa.

El contenido porcentual de celulosa se determina mediante el método de Kûrshner – Höffer, el 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. (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 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 $\text{pH} = 7$ 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 ± 25 ° C durante seis horas.

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

Siempre que las variables se ajustaron a la distribución normal al aplicarla prueba de Kolmogorov-Smirnov se realizó el análisis de la varianza (ANOVA), tomando como factores las especies y las alturas del fuste comercial. Se utilizó las pruebas de Duncan de comparación de medias.

Para aquellas variables que no cumplieron con una distribución normal se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis y la prueba de Student- Newman- Keuls (SNK).

Se realizó el análisis de discriminante (multivariado) por altura y especie para todas las variables.

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

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la Tabla 2, para la especie de *C. citriodora*, 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. (1995).

Las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente aumentan a medida que se asciende en el tronco comercial, con diferencias estadísticas significativas para las tres alturas.

Tabla 2. Composición química de la corteza de *C. citriodora* a tres alturas del fuste 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 $\alpha < 0,05$.

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. (Silvia. *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 estructurales de este polímero en la corteza, y a la presencia de hemicelulosas en las muestras de celulosa. (Carballo Abreu. *et al* 2004)

Las holocelulosas presentan valores elevados caracterizados en lo fundamental por los altos contenidos 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 comparados con los obtenidos por Chang., (1954) y Harder . (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. *et al.*, 2002); (Carballo Abreu *et al* 2004)

De la Tabla 3, para la especie de *E. Saligna* Smith, se puede apreciar que las sustancias solubles en hexano, manifiestan una disminución con la altura del fuste comercial, con diferencias estadísticas significativas a las tres alturas del fuste comercial, lo que sugiere que la composición lipofílica de la corteza en esta especie se encuentra en mayor abundancia en la parte inferior del fuste comercial. Esto podría estar relacionado a características propias de la especie, donde la parte inferior del fuste en el *E. saligna* Smith presenta una acumulación de corteza áspera y persistente casi hasta la mitad o 2/3 de la altura del fuste, proporcionando mayores contenidos de sustancias apolares en su parte inferior según lo planteado por Poo., (1995) y (Gary. *et al.* 2004).

Las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente no presentan diferencias estadísticas significativas a las tres alturas estudiadas. Esto es de consideración en estas especies por constituir un método de obtención de taninos según publica Martínez-Luzardo., (1989).

Tabla 3. Composición química de la corteza de *E. saligna* Smith a tres alturas del fuste comercial (25%, 55%, 85%)

DETERMINACIONES (%)	25%	55%	85%
SOLUBLES EN HEXANO	3,70(a)	2,61(b)	1,67(c)
SOLUBLES EN AGUA A TEMP. AMBIENTE.	19,09(a)	18,55 (a)	18,81 (a)
SOLUBLES EN AGUA 95 °C	19,74(a)	18,48 (b)	20,03 (a)
SOLUBLES EN ETANOL 95%	18,75(c)	19,35 (b)	22,25 (a)
SOLUBILIDAD EN NaOH 1%	41,24(c)	42,98 (b)	44,43 (a)
LIGNINA INSOLUBLE EN ÁCIDO	17,10(c)	17,90(b)	19,40 (a)
CELULOSA	59,40 (a)	58,31 (b)	57,65 (c)
HOLOCELULOSAS	82,90(a)	82,10 (b)	80,60 (c)
SUSTANCIAS MINERALES	4,90(c)	5,75 (a)	5,58 (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 $\alpha < 0,05$.

Las sustancias solubles en agua a 95°C muestran un ligero aumento en sus valores porcentuales al ser comparadas con las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente, y sugiere que al aumentar la temperatura, aumenta la solubilidad de las sustancias de naturaleza polar que se encuentran presentes en la corteza de *E. saligna* Smith, donde el 55% de altura presenta diferencias significativas con el 85% y 25%. Este comportamiento podría estar relacionado con un incremento de las sustancias polares en la parte superior del fuste comercial. Lo que se comprueba al analizar las sustancias solubles en etanol al 95%, que manifiestan un aumento con la altura del fuste, obteniendo los menores valores al 25% de altura y los mayores valores al 85% de la altura estudiada. Las tres alturas estudiadas muestran diferencias estadísticas significativas.

Las sustancias solubles en NaOH al 1% muestran diferencias estadísticas significativas para las tres alturas del fuste, lo que sugiere el incremento de las sustancias ácidas, fenólicas y polifenólicas con la altura; al poseer masas moleculares menores (25%) se facilita su extracción y dado los altos valores obtenidos podría utilizarse como método de extracción de sustancias fenólicas. (Stanley. 2003)

La lignina insoluble en ácido muestra sus mayores valores al 85% de la altura del fuste comercial con diferencias estadísticas significativas para las tres alturas. Los altos valores en la parte superior podrían estar asociados a los altos contenidos de extraíbles fenólicos que no han podido ser removidos, y provocar reacciones de condensación y/o oxidación interfiriendo su determinación. (Silvia Marquina. et al. 2005)

Los contenidos de celulosa disminuyen ligeramente con la altura del fuste con diferencias estadísticas significativas para las tres alturas estudiadas. Estos altos valores podrían estar relacionados con la mayor accesibilidad química que tiene este polisacárido en este tipo de material, sugiriendo además diferencias estructurales de la celulosa presente en la corteza a las diferentes alturas del fuste. (Orea Igarza. et al 2004 a)

Las holocelulosas en este material alcanzan altos valores porcentuales atribuidos en su mayor parte a los altos contenidos de celulosa, y muestran diferencias estadísticas significativas a las tres alturas estudiadas.

Las sustancias minerales presentan diferencias estadísticas significativas a las tres alturas del fuste comercial. En general estos valores se consideran altos según los resultados de Chang. (1954) y Harder. (1980).

El estudio de la composición química de la corteza de *E. saligna* Smith que crece en la provincia de Pinar del Río, Cuba, demostró diferencias con la altura del fuste comercial. Con gran variabilidad en el contenido de sustancias extraíbles en los diferentes sistemas de solventes celulosa y ligninas, aumentando con la altura del fuste, con excepción de las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente. (Fradinho. et al 2002)

En la Tabla 4, sobre el *E. pellita* F. Muell, se puede observar que las sustancias solubles en hexano son muy similares para las tres alturas estudiadas sin diferencias estadísticas significativas. Este comportamiento podría estar asociado a las características genéticas de la especie, donde el fuste se encuentra completamente cubierto por una corteza áspera y persistente, (corteza externa), donde predominan las ceras, suberinas, cutina, sustancias de naturaleza apolar que son solubles en hexano, en correspondencia con lo planteado por Guardiola y Amparo. (1995).

Tabla 4. Composición química de la corteza de *Eucalyptus pellita* F. Muell a tres alturas del fuste comercial (25%, 55%, 85%)

DETERMINACIONES (%)	25%	55%	85%
SOLUBLES EN HEXANO	2,21 (a)	2,64(a)	2,67 (a)
SOLUBLES EN AGUA A TEMP. AMBIENTE.	7,69(b)	8,69 (a)	7,82(b)
SOLUBLES EN AGUA A 95°C	13,97 (b)	13,43(c)	14,50 (a)
SOLUBLES EN ETANOL 95%	13,71(a)	13,27 (a)	12,40(b)
SOLUBILIDAD EN NaOH 1%	30,84 (c)	33,57(b)	36,24 (a)
LIGNINA INSOLUBLE EN ÁCIDO	32,80 (a)	33,12(a)	31,24 (b)
CELULOSA	60,45 (a)	61,10(a)	58,45(b)
HOLOCELULOSAS	67,20 (b)	66,87(b)	68,75(a)
SUSTANCIAS MINERALES	4,56(a)	4,06(c)	4,36 (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 $\alpha < 0,05$.

Las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente no presentan diferencias estadísticas significativas entre el 25% y 85%.

El porcentaje de sustancias solubles en agua a 95°C presenta diferencias estadísticas significativas a las tres alturas estudiadas y son superiores, cuando se comparan con los valores obtenidos en agua a temperatura ambiente, sugiriendo que la temperatura ejerce una influencia positiva en la solubilidad en agua de las sustancias polares presentes en la corteza de esta especie. (Gary. *et al.* 2004). Estos resultados pudieran ser tomados en consideración dado que la extracción con agua constituye un método de obtención de taninos, compuestos abundantes en estas especies según datos publicados por Martínez- Luzardo. (1989) y (Stanley. 2003)

Las sustancias solubles en etanol al 95% corroboran la presencia de sustancias polares, con diferencias estadísticas significativas del 85% con el 25% y 55% de la altura del fuste comercial estudiado.

Al 85% de la altura del fuste comercial se alcanzan los mayores valores medios porcentuales de las sustancias solubles en NaOH al 1% y los menores valores al 25% de la altura del fuste comercial, con diferencias estadísticas significativas para las tres alturas, evidenciando un aumento de las sustancias solubles en NaOH al 1% con la altura del fuste comercial, lo que sugiere que en la parte superior se encuentren mayores cantidades de compuestos fenólicos, polifenólicos y compuestos ácidos. (Silvia Marquina, *et al.* 2005)

La lignina insoluble en ácido muestra valores máximos al 55% de la altura del fuste estudiado y los menores valores al 85%, mostrando el 85% de altura diferencias estadísticas significativas con el 25% y 55% de altura del fuste comercial, estos valores son elevados para este tipo de material lignocelulósico, los que pueden estar interferidos por la presencia de fenoles y polifenoles que no han podido ser extraídos previamente con los sistemas de solventes empleados para obtener el material libre de sustancias extraíbles y provocar reacciones de oxidación y/o condensación, influyendo así en los resultados, los que corresponden con los datos publicados por Poo., (1995).

Los contenidos de celulosa son aparentemente elevados, alcanzando el valor máximo al 55% de la altura del fuste comercial y el valor mínimo al 85% de la altura del fuste estudiado, donde este último presenta diferencias estadísticas significativas con el 25% y 55% de la altura del

fuste comercia; los que pueden estar asociados a impurezas de hemicelulosas presentes. (Orea Igarza. et al 2004 b)

Los valores porcentuales de holocelulosa son considerados elevados, en lo fundamental por los altos contenidos de celulosa, presentando diferencias estadísticas significativas el 25% y 55% con el 85% de la altura del fuste comercial.

Las sustancias minerales muestran diferencias estadísticas significativas para las tres alturas estudiadas. Los valores máximos se manifiestan al 25% de la altura del fuste y los menores al 55% de la altura del fuste, en general son altos en correspondencia con los resultados publicados por Chang. (1954) y Harder. (1980).

La composición química de la corteza de *E. pellita* F. Muell presenta diferencias con la altura del fuste comercial. Con gran variabilidad en el contenido de sustancias extraíbles en los sistemas de solventes NaOH al 1%; agua a 95°C así como los contenidos de sustancias minerales, no sucediendo así para las sustancias solubles en hexano. La prueba de Kolmogorov-Smirnov, que permite contrastar los criterios de normalidad fue aplicada a todas las variables que intervinieron en el análisis químico de la corteza, donde no cumplieron el criterio de normalidad las variables sustancias solubles en agua a 95 °C, sustancias solubles en NaOH al 1 %, sustancias solubles en etanol al 95 %, contenido en lignina y contenido en holocelulosa. El resto lo cumple para un nivel de significación del 95 %.

Del análisis discriminante por especie y altura con todas las variables se originan ocho funciones canónicas discriminantes, correspondientes a todas las variables dependientes llevadas al análisis, excepto, la holocelulosa.

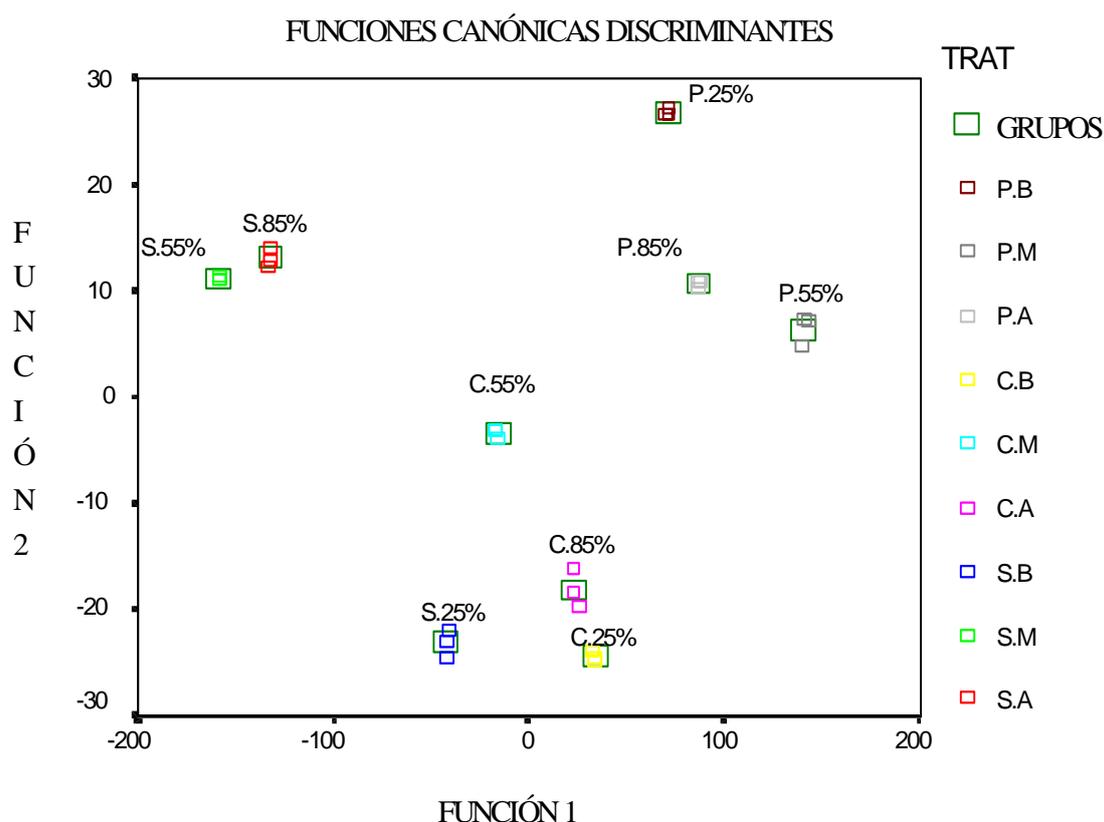


Figura 1. Análisis multivariado de la composición química de la corteza de eucalipto. Proyección en el plano definido por la altura entre las especies.

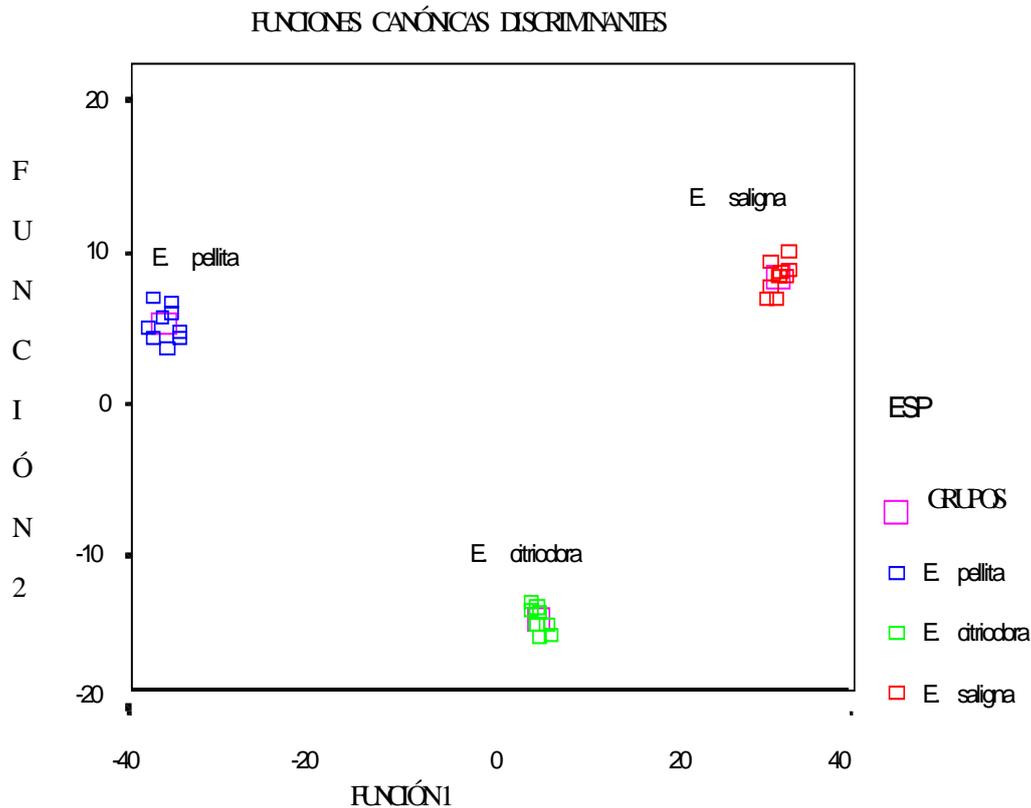


Figura 2. Análisis multivariado de la composición química de la corteza de eucalipto. Proyección en el plano definido por la especie.

Tabla 5. Organización de la significación de los tratamientos para las diferentes variables. (Prueba de Duncan y SNK)

Solubles en agua a 95 °C	SA	SB	SM	CM	PA	CA	PB	PM	CB
	(a)	(a)	(b)	(c)	(c)	(c)	(c)(d)	(d)	(e)
Contenido de lignina	PM	PB	PA	CA	CM	SA	CB	SM	SB
	(a)	(a)	(b)	(c)	(c)	(d)	(e)	(e)	(f)
Solubles en etanol 95 %	SA	SM	SB	PB	CA	PM	CM	CB	PA
	(a)	(b)	(c)	(d)	(d)(e)	(e)	(f)	(f)(g)	(g)
Contenido de holocelulosa	SB	SM	CB	SA	CM	CA	PA	PB	PM
	(a)	(b)	(b)	(c)	(d)	(d)	(e)	(f)	(f)
Solubles en NaOH al 1 %	SA	SM	SB	CM	PA	CA	CB	PM	PB
	(a)	(b)	(c)	(c)	(d)	(d)	(e)	(e)	(f)
Solubles el Hexano	SB	PA	PM	SM	PB	CB	SA	CM	CA
	(a)	(b)	(b)	(b)	(c)	(c)	(d)	(d)	(e)
Contenido de celulosa	CM	CA	CB	PM	PB	SB	PA	SM	SA
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(g)	(h)
Contenido de ceniza	PM	PA	CB	PB	CA	CM	SB	SA	SM
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(f)	(g)	(h)
Solubles en agua a temp. ambiente	PB	PA	PM	CB	CM	CA	SM	SB	SA
	(a)	(a)	(b)	(c)	(c)	(d)	(e)	(e)	(e)

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). Ordenadas de mayor a menor.

Tabla 6. Análisis de varianza bifactorial para la composición química de la corteza a tres alturas del fuste comercial para *E. saligna* Smith, *C. citriodora* y *E. pellita* F. Muell.

	Grados de Libertad	Solubles en NaOH 1 %	Solubles en Hexano	Contenido de Celulosa	Contenido de Ceniza	Solubles en agua temp. amb.
Especie (A)	2	$1,06 \cdot 10^{-4} ***$	$4,149 \cdot 10^{-3} ***$	$46,358 \cdot 10^{-3} ***$	$4,8 \cdot 10^{-3} ***$	$1,15 \cdot 10^{-2} ***$
Altura (B)	2	$1,06 \cdot 10^{-5} ***$	$2,060 \cdot 10^{-4} ***$	$6,772 \cdot 10^{-5} ***$	$1,54 \cdot 10^{-4} ***$	$7,53 \cdot 10^{-5} ***$
A x B	4	$1,13 \cdot 10^{-6} ***$	$1,243 \cdot 10^{-5} ***$	$3,377 \cdot 10^{-4} ***$	$7,39 \cdot 10^{-4} ***$	$9,99 \cdot 10^{-5} ***$
Error	18	$5,52 \cdot 10^{-7}$	$3,61 \cdot 10^{-2}$	$0,103 \cdot 10^{-6}$	$1,84 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$

*** - Significación para $\alpha < 0,01$

La figura 1 muestra la representación canónica de la composición química de las cortezas de eucaliptos estudiadas, definidas en el plano por la altura, con una considerable capacidad discriminante representadas por las funciones 1 y 2. Estas funciones canónicas discriminantes 1 y 2 son las que presentan el mayor porcentaje de varianza con el 93,8 % y 3,1 % respectivamente para un 96,9 % de varianza acumulativa entre ambas funciones; y se puede observar que no existe un buen agrupamiento de la composición química por altura entre las especies, se manifiesta una menor separación entre las especies de *E. saligna* Smith y *E. citriodora* var *citriodora*, con respecto al *E. pellita* F. Muell, lo que puede estar favorecido por una mayor similitud genética entre estas dos especies. (Cadahía *et al* 1997)

En la figura 2 se muestra la representación canónica de la composición química de las cortezas de eucaliptos estudiadas, definidas en el plano por la especie, con una alta capacidad discriminante representadas por las funciones 1 y 2. Estas funciones canónicas discriminantes presentan el mayor porcentaje de varianza con 88,7 % y 11,3 % de varianza respectivamente y 100 % de varianza acumulativa entre ambas funciones. Se observa la clara delimitación que se establece al estudiar la composición química de la corteza con la especie. (Gary *et al* 2004)

Al realizar el análisis discriminante en función de la altura no aparece ninguna variable en el análisis con valores de f y Lambda de Wilk significativos

Las pruebas rango múltiple de Duncan considerando la especie y la altura, así como la prueba de Student Newman Keules (SNK) se muestran en la Tabla 5 que establece la significación de los tratamientos para las diferentes variables ordenadas de forma decreciente; concluyendo que los mayores contenidos de sustancias solubles en agua a 95 °C corresponden a la especie *E. saligna* Smith (SA) en su parte superior, (85 % de altura del fuste comercial); sin diferencia estadística significativa con la misma especie al 55 % de altura del fuste; los mayores porcentajes de lignina corresponde a la especie de *E. pellita* F. Muell (PM) al 55 % de altura del fuste comercial, sin diferencias estadísticas significativas entre la misma especie al 25 % de altura del fuste comercial; los mayores contenidos de sustancias solubles en etanol al 95 %, corresponden a la especie de *E. saligna* Smith (SA), al 85 % de altura del fuste comercial, así como los de holocelulosa y sustancias solubles en hexano corresponden a la especie *E. saligna* Smith (SB) al 25 % de altura del fuste comercial. Las sustancias solubles en NaOH al 1 % alcanzan sus mayores valores porcentuales en la especie *E. saligna* Smith (SA), al 85 % de altura del fuste comercial. De igual forma los contenidos de celulosa corresponden a la especie *Corymbia. citriodora* (CM) al 55 % de altura del fuste comercial. En el caso del contenido de cenizas, corresponden los mayores valores a la especie de *E. pellita* F. Muell (PM) al 55% de altura del fuste comercial y las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente corresponden a la especie de *E. pellita* F. Muell (PB) al 25 % de altura del fuste comercial, sin diferencia estadística significativa con la misma especie al 85 % de altura del fuste comercial.

En la Tabla 6 se muestra el análisis de varianza bifactorial para la composición química de la corteza a tres alturas del fuste comercial para las especies de *E. saligna* Smith, *Corymbia citriodora* y *E. pellita* F. Muell donde se observan diferencias estadísticas significativas para todas las variables, con un nivel de significación de $\alpha < 0.01$.

4. CONCLUSIONES

El estudio de la composición química de la corteza demuestra que presenta mayores contenidos de sustancias extraíbles y de sustancias minerales, donde se destacan las especies de *E. saligna* Smith y *Corymbia citriodora*; las variaciones presentan mayor manifestación con la especie que con la altura del fuste comercial.

La corteza de eucalipto es caracterizada por su riqueza en las sustancias extraíbles de naturaleza polar, principalmente taninos, los que varían de manera cuantitativa a lo largo del fuste comercial y entre las especies estudiadas; sugiriendo una fuente de materia prima en la obtención de sustancias antioxidantes.

El contenido apreciable de sustancias minerales sugieren el empleo de estas cortezas en los procesos de compost, y/o aditivo en sustratos para la propagación de plantas en viveros.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aldana Pereira E.; García Corona I.; Frias Gonzáles M.; Fernández Prieto R. (2005) "Proyecto de Ordenación de la Zona occidental de la Provincia de Pinar del Río" Base de Datos EFI de Macurijes, MINAGRI.
- Almeida, M. Pereira, H., Miranda & Tomé, M. (1995) "Provenance trials of *E. globulus* Labill in Portugal", CRC for Temperate Hardwood Forestry IUFRO, Hobart.
- Bland, D. E., (1985). "The composition and Analysis of eucalyptus wood" *Appita*, 38, (4), p.291-294.
- Cadahía, E., Conde, E., García Vallejo, M. C. and Fernández de Simon, B., (1997) "Tannin composition of *E. camaldulensis*, *E. globulus* and *E. rudis* part II bark." *Holzforchung* Vol.51, N°2, p.125-129.
- 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 N°1: *Corymbia citriodora*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* ISSN 0186 3231 Vol.X;N° 1; pág. 57-62, México.
- Chang, Y. P., (1954) "Anatomy of common north American pulpwood bark", STAP (14), TAPPI Press, Atlanta, G.A.,
- Fradinho D. M., C. Pascoal Neto, Evtuguin D., Jorge F. C., Irle M. A., Gil M. H., Pedrosa de Jesus J. (2002) "Chemical characterisation of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal". *Industrial Crops and Products* Volume 16, Issue 1, Pag 23-32
- Gary M. L., Weathers K. C., Arthur M. A. and Schultz J. C. (2004) Nitrogen cycling in a northern hardwood forest: Do species matter. *Biogeochemistry* 67: 289–308.
- Goes, E., (1977) "Os Eucaliptos, Ecología, Cultura, Produções e Rentabilidade", Ed. Portucel,
- Guardiola, J. L. y Amparo, G. L., (1995). "Fisiología Vegetal, Nutrición y Transporte", Editora Síntesis, Valencia, España, p.27-63,.
- Harder, M. L. and Einspahr, D.W. (1980). "TAPPI" , 63 (12), p. 110,.
- Martínez Luzardo, F., (1989) "Obtención, caracterización general y posibles usos industriales de taninos vegetales contenidos en la corteza de cinco especies forestales que crecen en Cuba". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto de Investigaciones Forestales (IIF), La Habana, Cuba.
- Melcer, I. (1976). "Analytická Chémia Dreva", SNTL-Alfa, Bratislava.
- Orea Igarza U.; Carballo Abreu L. R.; Cordero Machado E. (2004 a) "Composición Química de Tres Maderas en la Provincia de Pinar del Río, Cuba a Tres Alturas del Fuste Comercial". Parte N° 3: *Eucalyptus saligna* Smith *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* ISSN 0186 3231 Vol.X;N° 2 ; pág. 71-75; México.

- Orea Igarza U.; Carballo Abreu L. R.; Cordero Machado E. (2004 b) "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 Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente ISSN 0186 3231 Vol.X;N° 1; pág. 51-55; México.
- Poo Chow. (1995) "Chemical composition of five 3 years-old hardwood trees", Wood and Fiber Science, Society of Wood Science and Technology, Doctoral Thesis.
- Programa de Desarrollo Económico y Forestal hasta el año 2015. (1998) MINAGRI.
- Programa SPSS for windows, ver. 10.0 (1997), facilitado bajo derechos por la Universidad de Minnesota-Duluth, USA.
- Quilhó, T., Pereira, H., (1997) "Variabilidade de tecidos na casca de *E. globulus* Labill de diferentes provenances" Conferencia IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos, p. 397-402.
- Silvia Marquina, Jaime Bonilla-Barbosa and Laura Alvarez (2005) "Comparative phytochemical analysis of four Mexican *Nymphaea* species". Phytochemistry. Volume 66, Issue 8, Pag 921-927.
- Stanley Roger Anthony, (2003) "Extraction of phenolic antioxidants". Patent N° WO03042133, Horticulture and Food RES INST.
- TAPPI Test Methods. (1999), Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta.
- Vázquez, G., Antorena, G. And Parajó, J. C., (1987). "Studies on the utilization of *Pinus Pinaster* bark". Wood Science Technology 21,p. 65-74.

