

Reducción del nivel de lignina en la corteza del eucalyptus urophylla mediante tratamiento térmico

Carlos Alvarado Almarza*, Ulise Heredia

Centro de Investigaciones Químicas (CIQ), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

Resumen.-

El objetivo de esta investigación fue reducir el nivel de lignina en la corteza del Eucalyptus urophylla mediante tratamiento térmico con calor húmedo presurizado para hacer más disponible la celulosa presente en dicha corteza. A la corteza del E. urophylla se realizó la caracterización fisicoquímica, se seleccionaron y evaluaron diferentes tratamientos térmicos y finalmente se determinó la composición porcentual de lignina, hemicelulosa y celulosa del material sólido. Las muestras evaluadas del E. urophylla presentaron valores de $(6,115 \pm 0,003)$ % en sustancias extractivas totales, $(24,49 \pm 0,02)$ % de lignina, $(49,03 \pm 0,02)$ % de celulosa y $(20,37 \pm 0,04)$ % de hemicelulosas. Los procesos de deslignificación seleccionados fueron: tratamiento en medio ácido, medio alcalino y medio neutro. El tratamiento térmico en medio alcalino tuvo el mayor rendimiento en la deslignificación con $(73,39 \pm 0,02)$ %, seguido del tratamiento medio ácido con $(53,09 \pm 0,02)$ % y el tratamiento en medio neutro tuvo el menor efecto en la deslignificación con $(9,07 \pm 0,02)$ %.

Palabras clave: lignina, celulosa, corteza, deslignificación.

Lignin level reduce in eucalyptus urophylla cortex via heat treatment

Abstract.-

The objective of this research was to reduce the lignin contents in E. urophylla cortex through heat treatment to make cellulose in cortex more accessible. Physicochemical analysis and several heat treatments were realized and evaluated on cortex of E. urophylla, and perceptual composition of lignin, hemicelluloses and cellulose of solid material was finally determined. Samples of E. urophylla had $(6,115 \pm 0,003)$ % of total extractives substances, $(24,49 \pm 0,02)$ % of lignin, $(49,03 \pm 0,02)$ % of cellulose and $(20,37 \pm 0,04)$ % of hemicelluloses. The selected delignification heat processes were: acid treatment, alkaline treatment and neutral treatment. The alkaline heat treatment had the highest delignification yield with about $(73,39 \pm 0,02)$ %, follow by acid heat treatment with $(53,09 \pm 0,02)$ % and the neutral heat treatment was the least effective through lignins reduce with $(9,07 \pm 0,02)$ % of yield.

Keywords: lignin, cellulose, cortex, delignification.

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales lignocelulósicos como la corteza de E. urophylla están constituidos en gran parte por celulosa, la cual es un polisacárido que se localiza en las membranas celulares de las plantas aportando rigidez a las mismas. Generalmente se encuentran formando masas amorfas de las que participan también otras estructuras como hemicelulosas, pectinas o ligninas [1].

Recibido: febrero 2011

Aceptado: agosto 2011

*Autor para correspondencia

Correo-e: c_alvarado_almarza@yahoo.es (Carlos Alvarado Almarza)

Químicamente la lignina es un polímero tridimensional amorfo constituido a partir de unidades fenilpropano que se unen entre sí por enlaces tipo alquil-aril-éter o carbono-carbono [2]. Una de las dificultades más importantes a la hora de trazarse la meta de obtener celulosa a partir de un recurso lignocelulósico es lograr separar de manera óptima las numerosas y fuertes uniones químicas que existen entre los polifenoles y los polisacáridos no glucosídicos, objetivo que puede ser alcanzado por métodos mecánicos, químicos o una combinación de ambos según la pasta de celulosa requerida, y que no se realiza actualmente en la industria venezolana, razón por la cual se ha propuesto el objetivo de reducir el nivel de lignina en la corteza del *E. urophylla* mediante tratamiento térmico con calor húmedo presurizado, a fin de hacer más disponible la celulosa presente en dicha corteza.

2. METODOLOGÍA

2.1. Caracterización de la corteza del *E. urophylla*

Dentro de la gran variedad de métodos disponibles se escoge la secuencia analítica para la caracterización de la materia prima original y de la fibra insoluble obtenida después de pretratamientos hidrolíticos [2].

2.1.1. Preparación de la materia prima

La corteza del *E. urophylla* proveniente de la empresa Mocarpel ubicada en el Estado Yaracuy fue remojada en agua y luego reducida a partículas empleando un molino de carne y hueso marca Beehive. Se tomó la corteza proveniente de discos de 20 cm de longitud al 25 %, 55 % y 85 % de la altura del fuste comercial de cada árbol, y posteriormente se redujeron a partículas, homogenizaron y tamizaron para un tamaño de partícula entre 0,4 y 0,6 mm. Seguidamente se procedió a secar la materia prima en un secador de lecho fluidizado y se tamizó en malla 20 plg. La muestra fue pesada y guardada en bolsas plásticas herméticas para su conservación y posterior análisis [3]. La corteza del *E. urophylla* proveniente de la empresa Mocarpel ubicada en

el Estado Yaracuy fue remojada en agua y luego reducida a partículas empleando un molino de carne y hueso marca Beehive. Se tomó la corteza proveniente de discos de 20 cm de longitud al 25 %, 55 % y 85 % de la altura del fuste comercial de cada árbol, y posteriormente se redujeron a partículas, homogenizaron y tamizaron para un tamaño de partícula entre 0,4 y 0,6 mm. Seguidamente se procedió a secar la materia prima en un secador de lecho fluidizado y se tamizó en malla 20 plg. La muestra fue pesada y guardada en bolsas plásticas herméticas para su conservación y posterior análisis [3].

2.2. Determinación de sustancias extraíbles

2.2.1. Determinación del contenido de sustancias solubles en tolueno-etanol en relación (2:1), respectivamente

El porcentaje de extractivos se calculó por medio de las siguientes expresiones

$$P2 = D2 - D1, \quad (1)$$

$$\% \text{Tolueno - Etanol} = \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) * 100, \quad (2)$$

donde:

P1: peso inicial de la muestra utilizada durante la extracción en tolueno-etanol (2:1) (g).

P2: peso final de la muestra extraída con tolueno-etanol (g).

D1: peso del dedal de celulosa vacío, utilizado en la extracción con tolueno-etanol (g).

D2: peso final del dedal de celulosa, con la muestra extraída en tolueno-etanol (g).

La determinación de las sustancias solubles en la mezcla de tolueno-etanol (2:1) al igual que los demás análisis, se realizó por duplicado como lo establecen las normas TAPPI [3].

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

El contenido de sustancias solubles en agua a 95°C se realizó colocando toda la muestra extraída en la mezcla tolueno-etanol (2:1), con 100 mL de agua destilada y se sometió a reflujo durante 3 h. Posteriormente el residuo se filtró y se secó en

estufa a $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$ hasta obtener masa constante [5].

El cálculo del porcentaje de sustancias extraíbles en agua caliente se realizó como se indica a continuación

$$P3 = V2 - V1, \quad (3)$$

$$\% \text{ Agua}_{95^\circ\text{C}} = \left(\frac{P2 - P3}{P2} \right) * 100, \quad (4)$$

donde:

P3: peso final de la muestra extraída con agua a 95°C (g).

V1: peso inicial del vidrio de reloj, utilizado en la extracción con agua a 95°C (g).

V2: peso final del vidrio de reloj, con la muestra extraída en agua a 95°C (g).

Para referir este porcentaje anterior al peso inicial de la muestra, es decir al peso antes de la extracción con tolueno-etanol (2:1), se realizó la siguiente corrección

$$\% \text{ Agua}_{95\%(\text{ corregido})} =$$

$$\% \text{ Agua}_{95^\circ\text{C}} * \left(1 - \frac{\% \text{ Tolueno} - \text{Etanol}(2 : 1)}{100} \right), \quad (5)$$

2.3. Ensayos con etanol al 95 %, hexano e hidróxido de sodio al 1 %

Estos ensayos son los denominados análisis no sumativos. No interfieren en la determinación de las macromoléculas y permiten estudiar el comportamiento de la corteza ante los solventes que se aplican para cada ensayo.

2.3.1. Determinación del contenido de sustancias solubles en etanol al 95 %

Para el ensayo con etanol al 95 %, se tomó aproximadamente $(1,0000 \pm 0,0001)$ g de corteza libre de sustancias extraíbles y se siguió el procedimiento establecido por la norma TAPPI T 264 om - 88 [4].

Las ecuaciones (6) y (7) muestran la manera como se calculó el porcentaje de extraíbles en etanol al 95 %

$$P5 = D4 - D3, \quad (6)$$

$$\% \text{ Etanol}_{95\%} = \left(\frac{P4 - P5}{P4} \right) * 100, \quad (7)$$

donde:

P4: peso inicial de la muestra utilizada durante el ensayo con etanol al 95 % (g),

P5: peso final de la muestra extraída con etanol al 95 % (g).

D3: peso del dedal de celulosa vacío, utilizado en la extracción con etanol al 95 % (g).

D4: peso final del dedal de celulosa, con la muestra extraída en etanol al 95 % (g).

2.3.2. Determinación del contenido de sustancias solubles en hexano

El porcentaje de sustancias solubles en hexano se determinó de manera similar al procedimiento indicado en el ensayo con etanol al 95 %, sustituyendo en las ecuaciones (6) y (7) los datos correspondientes al ensayo con hexano [4].

2.3.3. Determinación del contenido de sustancias solubles en NaOH al 1 % p/p

El contenido de sustancias solubles en la disolución de NaOH al 1 % p/p se realizó mezclando la muestra libre de sustancias extraíbles con 100 mL de NaOH al 1 % siguiendo el procedimiento establecido por la norma TAPPI T 212 om 93 [6]. Sustituyendo los datos correspondientes al ensayo con NaOH al 1 % en las ecuaciones (3) y (4), se calculó el porcentaje de sustancias solubles en dicho solvente.

2.4. Determinación de las macromoléculas lignina, celulosa y hemicelulosas

2.4.1. Determinación del contenido de lignina insoluble en ácido

Para determinar el contenido de lignina presente en la corteza del *E. urophylla* se utilizó la norma TAPPI T 222 om-88 [4]. El porcentaje de lignina se calculó de la siguiente manera

$$P7 = V4 - V3, \quad (8)$$

$$\% \text{ Lignina}_{95\%} = \left(\frac{P7}{P6} \right) * 100, \quad (9)$$

donde:

P6: peso inicial de la muestra utilizada para la

determinación de la lignina (g).

P7: peso de la lignina (g).

V3: peso inicial del vidrio de reloj, utilizado en la determinación de la lignina.

V4: peso final del vidrio de reloj, con la lignina determinada (g).

Para referir el porcentaje de lignina obtenido mediante la ecuación (9) a la muestra inicial utilizada al comienzo del análisis con tolueno-etanol (2:1) se realizó una corrección como se indica a continuación $\% \text{Extraíble}_{\text{Total}} =$

$$\% \text{Tolueno} - \text{etanol}(2 : 1) + \% \text{Agua}_{95^{\circ}\text{C}(\text{corregido})}, (10)$$

$$\% \text{Lign}_{(\text{corr})} = (\% \text{Lign}) * \left(1 - \frac{\% \text{Extraíble}_{(\text{tot})}}{100} \right). (11)$$

2.4.2. Determinación del contenido de celulosa

El contenido porcentual de celulosa se determinó mediante el método de Kürshner – Höffer [2]. El porcentaje de celulosa se calculó por las ecuaciones (8) y (9) sustituyendo lignina por celulosa. La corrección del contenido de celulosa se calculó empleando las expresiones (10) y (11) sustituyendo lignina por celulosa.

2.4.3. Estimación del contenido de hemicelulosa

En la presente investigación se expresaron los resultados de la forma establecida por la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel (TAPPI), así como también se expresaron según lo establecido por Núñez [2]. El porcentaje de hemicelulosas se calculó por la ecuación (12)

$$\% \text{Hemicel} = 100 - (\% \text{Lign} + \% \text{Celul}). (12)$$

El cálculo del porcentaje de las hemicelulosas se efectuó mediante la ecuación 13

$$\% \text{Hemicel} = 100$$

$$- (\% \text{Extraíble}_{\text{Total}} + \% \text{Lign}_{\text{corr}} + \% \text{Celul}_{\text{corr}}). (13)$$

2.5. Selección de los tratamientos a los cuales se sometió la corteza del *E. urophylla*

Las temperaturas y presiones se seleccionaron con base en antecedentes de investigaciones en la Fundación CIEPE, tomando en cuenta los rangos permisibles por el equipo empleado durante la cocción de la materia prima.

2.6. Evaluación de los tratamientos seleccionados

Para la evaluación de los tratamientos primeramente la materia prima fue remojada en agua y luego convertida en harina de corteza empleando para ello un molino de carne y hueso marca Beehive; luego de obtener la corteza de *E. urophylla* en forma de harina se procedió a emplear el tratamiento térmico bajo las condiciones seleccionadas. Se utilizó una carga de 600 g de cantidad de materia prima homogeneizada, secada y tamizada siguiendo el tratamiento antes descrito para preparación de muestras para análisis [3].

2.7. Caracterización del material sólido obtenido en cada uno de los tratamientos térmicos aplicados sobre la corteza del *E. urophylla*

Para la determinación de la composición química del material sólido, se siguieron las técnicas y secuencia de ensayos aplicados en la caracterización de la corteza del *E. urophylla*, los cuales son en su mayoría normas dictadas por la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel [3], salvo la técnica empleada para la determinación de celulosa y hemicelulosas [2].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la materia prima

Los resultados obtenidos del estudio de las sustancias solubles en hexano fueron muy similares para las dos muestras analizadas (Tabla 1). Estos valores podrían estar asociados a las características genéticas de la especie *urophylla*, donde el fuste se encuentra completamente cubierto por una corteza áspera y persistente (corteza externa), predominando en esta zona las ceras, suberinas, sustancias de naturaleza apolar que son solubles en hexano [7,8,9,10].

El porcentaje de sustancias solubles en hexano obtenido durante el análisis realizado a la corteza de *E. urophylla* fue superior al reportado por otras investigaciones para la corteza de *E. pellita*, *E. saligna* y *E. citriodora* [7,8,9,10]. Esto sugiere que los extraíbles en hexano varían según la especie que se analice y además refleja una mayor composición de las sustancias lipofílicas en la

Tabla 1: Composición porcentual de la corteza del *E. urophylla*.

MUESTRA 1:		%
Sustancias no sumativas:	Tolueno-etanol (2:1) ($t - e \pm 0,003$)	2,151
	Agua a 95°C ($Ag \pm 0,003$)	4,051
	Etanol al 95 % ($Eta \pm 0,003$) %	7,243
	Hexano ($Hex \pm 0,003$) %	24,604
	NaOH al 1 % ($Hi \pm 0,003$) %	0,742
Sustancias sumativas:	Lignina insoluble en ácido ($Lig \pm 0,02$) %	26,09
	Celulosa ($Cel \pm 0,02$) %	52,22
	Hemicelulosa ($Hem \pm 0,04$) %	21,69
MUESTRA 2:		%
Sustancias no sumativas:	Etanol al 95 % ($Eta \pm 0,003$) %	0,742
	Hexano ($Hex \pm 0,003$) %	7,243
	NaOH al 1 % ($Hi \pm 0,003$) %	24,604
Sustancias sumativas:		
	<i>Extraíbles:</i>	
	Tolueno-etanol (2:1) ($t - e \pm 0,003$)	2,151
	Agua a 95°C ($Ag \pm 0,003$)	3,964
<i>Macromoléculas:</i>	Lignina insoluble en ácido ($Lig \pm 0,02$) %	24,49
	Celulosa ($Cel \pm 0,02$) %	49,03
	Hemicelulosa ($Hem \pm 0,04$) %	20,37

corteza del *E. urophylla*. La determinación del contenido de sustancias solubles en la mezcla de los solventes orgánicos tolueno – etanol (2:1) sobre la corteza de *E. urophylla*, es una medida de la cantidad de ceras, grasas, resinas, aceites, colorantes orgánicos (clorofila), taninos, gomas e inclusive materiales solubles en agua [11].

No hubo diferencias, en los resultados obtenidos del análisis de las sustancias solubles en la mezcla tolueno – etanol, por el contrario fueron muy similares para las dos muestras analizadas y fue muy parecido al valor obtenido por Ayala *et al.* [11] para la madera de *E. grandis*. Estos resultados también presentan similitud con los reportados por Rivas y Cobas [12] para clones de *Populus canadensis* y *Populus deltoides*. El bajo porcentaje obtenido de las sustancias solubles en etanol al 95 %, se debió a la presencia de pocos compuestos polares afines al etanol, presentes en la muestra, ya que ésta había sido tratada previamente con la mezcla de tolueno – etanol, por lo que se logró remover de la muestra el remanente de sustancias polares que no extrajo la mezcla antes señalada.

3.2. Selección de las condiciones de operación bajo las cuales se llevó a cabo el tratamiento térmico aplicado a la corteza del *E. urophylla*

Por ser el hidróxido sódico el que proporciona el medio alcalino en los procesos de pulpado a nivel industrial y el ácido sulfúrico el que proporciona el medio ácido, se seleccionaron estos dos agentes químicos que junto a las condiciones antes establecidas formaron parte del tratamiento aplicado sobre la corteza de *E. urophylla*. En cuanto a la presión y temperatura de operación se trabajó con las máximas permisibles por el autoclave de la Fundación CIEPE las cuales no excedieron los 28 Psi y 136°C respectivamente. Es importante destacar que los valores antes señalados fueron seleccionados y considerados como limitantes del proceso ya que de haber contado con un equipo que permitiera alcanzar una mayor temperatura máxima, se hubiera seleccionado 150°C puesto que a esta temperatura según Núñez [2] ocurre una mayor deslignificación debido a que el rango de temperatura para pastas termoquímicas está entre 140 y 160°C.

Tabla 2: Condiciones de operación seleccionadas para los tratamientos ácido, alcalino y neutro

		Tratamiento	ÁCIDO	ALCALINO	NEUTRO
Materia prima (MP)	Cantidad procesada en base seca ($C_p \pm 0,05$)g		600,00	600,00	600,00
	Relación MP-LB (Materia prima – Licor Blanco)		1:16	1:16	1:16
	pH licor blanco (LB) ($pH \pm 0,005$)		3,000	12,000	7,000
Proceso	Temperatura máxima ($T \pm 0,5$)°C		135,0	136,0	134,0
	Presión máxima ($P \pm 0,5$)Psi		27,0	28,0	26,0
	Tiempo ($t \pm 0,05$)h		2,00	2,00	2,00

Tabla 3: Cantidad de material sólido y de licor negro obtenidos durante los distintos procesos de cocción.

Proceso	ÁCIDO	ALCALINO	NEUTRO
Material sólido en base seca ($M_s \pm 0,05$)g	480,00	510,00	570,00
Licor negro recolectado ($LN \pm 0,3$)L	39,0	52,0	13,0
pH licor negro ($pH \pm 0,005$)	2,400	11,800	6,600

3.3. Evaluación de los tratamientos sobre la corteza del *E. urophylla*

En la Tabla 2 se presentan las condiciones bajo las cuales se realizaron las cocciones de la corteza de *E. urophylla*. Cada procedimiento se realizó por duplicado bajo las mismas condiciones, con el fin de darle validez al experimento.

La Tabla 3 muestra la cantidad de material sólido y licor negro obtenidos durante los distintos procesos de cocción. Se observa que la mayor cantidad de material sólido correspondió al proceso neutro lo cual concuerda con la información suministrada para pastas de celulosa de tipo termomecánica [13].

Se pudo observar una disminución del pH en el licor negro (Tabla 3) en comparación al licor blanco (Tabla 2) en cada proceso aplicado sobre la corteza de *E. urophylla*. Esto se debió seguramente a que durante el proceso de deslignificación se generó la liberación de ácidos carboxílicos (ácido fórmico y acético) como acetilos y metoxilos [2], los cuales acidifican el licor de cocción. En el proceso llevado a cabo en medio ácido, el pH del licor negro sufrió la mayor disminución, lo cual supone un aumento en la severidad del tratamiento. Esto explica el porqué se obtuvo una menor cantidad de material sólido después de la cocción

en dicho medio.

3.4. Composición porcentual de lignina, celulosa y hemicelulosa del material sólido obtenido en los tratamientos térmicos

En la Tabla 4 se presenta la composición porcentual del material sólido que se obtuvo luego después de los diferentes tratamientos aplicados sobre la corteza de *E. urophylla*.

Se pudo observar una disminución en los denominados extractivos totales los cuales lo conforman las sustancias solubles en la mezcla tolueno – etanol y las solubles en agua a 95°C, siendo mayor la disminución de estas sustancias durante el tratamiento en medio alcalino. Ésta disminución supone una menor cantidad de ceras, grasas, resinas, aceites, colorantes orgánicos (clorofila), taninos, gomas y sales inorgánicas en el material sólido obtenido luego de los tratamientos, especialmente en medio alcalino [2].

La Tabla 5 muestra el rendimiento en cuanto al aprovechamiento de la materia prima, así como también, el rendimiento en cuanto a la deslignificación. Con base en estos resultados se seleccionó el tratamiento térmico en medio alcalino por ser el proceso de pulpado con el cual se alcanzó una mayor deslignificación en la corteza de *E. urophylla*.

Tabla 4: Composición porcentual de extraíbles y macromoléculas de la corteza del *E. urophylla* después de la aplicación de los diferentes tratamientos térmicos.

		Tratamiento	ÁCIDO	ALCALINO	NEUTRO
Extraíbles	Tolueno-etanol (2:1) (t-e±0,003) %		0,525	0,173	1,296
	Agua a 95°C (Ag±0,003) %		0,040	0,003	0,009
Total extraíbles	Tolueno-Etanol (2:1) más Agua a 95°C (ETOTAL±0,003) %		0,565	0,177	1,305
Macromoléculas	Lignina insoluble en ácido (Lig±0,02) %		11,49	6,52	22,27
	Celulosa (Cel±0,02) %		49,62	74,38	63,59
	Hemicelulosa (Hem±0,04) %		38,32	18,93	12,84

Tabla 5: Rendimiento en cuanto al aprovechamiento de la materia prima y rendimiento en cuanto a la deslignificación.

TRATAMIENTO	ÁCIDO	ALCALINO	NEUTRO
Rendimiento en cuanto al aprovechamiento de la materia prima (R1±1) %	80	85	95
Rendimiento en cuanto a la deslignificación (R2±0,02) %	53,09	73,39	9,07

Durante el pulpado en medio ácido el pH, la concentración de iones hidrógeno es de vital importancia y debe ser seleccionada cuidadosamente, porque cuando es demasiado baja la degradación no es completa y por otro lado a altas concentraciones de iones hidrógeno sucede que las reacciones de condensación de los fragmentos disueltos es excesiva, además de sufrir la celulosa una degradación tal, que se inutiliza el producto para su uso como fibras [2]. El aumento del porcentaje en las hemicelulosa, no significa para nada que éstas se reproduzcan durante la cocción. Los monómeros de glucosa productos de la disminución del grado de polimerización de la celulosa, ya no son contabilizados como este último polímero durante la caracterización del material sólido, sino que por tratarse de monosacáridos son atribuidos a las hemicelulosas [14]. Finalmente, estos resultados demuestran la perspectiva de aplicación a nivel industrial de estos tratamientos térmicos en materiales vegetales para lograr un grado de deslignificación considerable, que al mismo tiempo permita el aprovechamiento de la celulosa presente en estas cortezas vegetales para

la obtención ulterior de productos biotecnológicos.

4. CONCLUSIONES

El porcentaje de lignina presente en la corteza de *E. urophylla* fue de (24,49±0,02)%, valor que se encuentra dentro del rango establecido por las Normas TAPPI [3]. La celulosa en la corteza de *E. urophylla* con un porcentaje de (49,03±0,02)%, representó el componente mayoritario en la composición de dicha corteza. Los polisacáridos totales formados por las hemicelulosas con un porcentaje de (20,37±0,04)% y la celulosa, constituyeron más de las tres quintas partes de la composición porcentual de la corteza de *E. urophylla*. El mayor rendimiento en cuanto a la deslignificación se obtuvo durante el tratamiento térmico en medio alcalino el cual fue de (73,39±0,02)%, al tiempo que se obtuvo un rendimiento en cuanto al aprovechamiento de la materia prima de (85±1) %.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación ha sido realizada con la participación concedida por El Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (FUNDACIÓN CIEPE).

Referencias

- [1] Schmidt, O. (2006). Wood and Tree Fungi. Biology, Damage, Protection, and Use. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- [2] Gimenez, A.; Ríos, N. y Moglia, G. (2000). Relación albura-duramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña Seca. Revista de Ciencias Forestales. Quebracho 8: 56-63
- [3] Technical association of the pulp and paper industry, (1997). TAPPI test methods: TAPPI press. Atlanta: GA.
- [4] Technical association of the pulp and paper industry, (1997). TAPPI test methods: T 264 om-88. TAPPI press. Atlanta: GA.
- [5] Technical association of the pulp and paper industry, (1997). TAPPI test methods: TAPPI T 207 om-93. TAPPI press. Atlanta: GA.
- [6] Technical association of the pulp and paper industry, (1997). TAPPI test methods: TAPPI T 212 om 93. TAPPI press. Atlanta: GA.
- [7] Orea, U., Cordero, E. y Gómez, R. Estudio comparativo de la composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos a tres alturas del fuste comercial. Revista de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 13 (44-55). Argentina. ISSN: 0328-0543.
- [8] Orea-Igarza, U., Cordero-Machado, E., Pérez, N., Gómez, R. (2006). Composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos, a tres alturas del fuste comercial. Parte 2 *Eucalyptus pellita f. muell.* Revista Forestal Venezolana 50 (1) pp. 53-58.
- [9] Orea-Igarza^b, U.; Cordero-Machado, E.; Pérez, N.; Gómez, R. (2006). Composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos, a tres alturas del fuste comercial. Parte 3 *Eucalyptus saligna Smith.* Revista Forestal Venezolana 50 (1) pp. 59-64.
- [10] Orea-Igarza^c, U.; Cordero-Machado, E.; Pérez, N.; Gómez, R. (2006). Composición química de la corteza de tres especies de eucaliptos, a tres alturas del fuste comercial. Parte 1 *Eucalyptus citriodora var. citriodora.* Revista Forestal Venezolana 50 (1) pp. 45-52.
- [11] Ayala, A., Cobas, A., Rivas, P. y Keil, G. (2007). Estudios químicos sobre madera de *eucalyptus grandis* hill ex maiden afectada por incendio superficial e impregnada con cca. [Documento en línea]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/>. Consultado el día 15 de junio de 2008.
- [12] Rivas, P. y Cobas, A. (2006). Estudio comparativo del contenido de lignina y solubles de nuevos clones de álamos. Actas Jornadas de Salicáceas 2006. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.sagpya.mec.gov.ar/new/0-0/.../JS%20>
- [13] Bourbonnais R.; Paice, MG (1996). Enzymatic delignification of kraft pulp using laccase and a mediator. Technical association of the pulp and paper industry. TAPPI J 79:199-204.
- [14] Carpezat, C. (2011). Biodegradación de madera de *Pinus radiata D. Don* modificada térmicamente. Tesis de Ingeniero en Maderas. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Valdivia. Chile. [Documento en línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/.../fifc297b.pdf>