

Ensayos de pulpaje y blanqueo de madera de eucaliptos (*Eucalyptus spp.*)

Melo, R.; Paz, J.; Solís, A.; Carrasco, V.

Sumario

Se efectuaron ensayos de pulpaje kraft y blanqueo de madera de eucaliptos (*Eucalyptus spp.*), incluyendo análisis físicos y químicos de las maderas.

Se muestran variaciones de edad entre 5 y 25 años, efecto de la presencia de corteza en las astillas y de la adición de antraquinona en la cocción.

El trabajo corresponde a una parte del Proyecto PNUD CHI/87/018 que se efectúa en el Laboratorio de Productos Forestales de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Concepción.

Summary

Pulping and bleaching trials with eucalyptus wood (*Eucalyptus spp.*) have been made including physical and chemical wood analysis.

Trees age variations are considered between 5 to 25 years besides bark presence effect and AQ addition effect.

This study is part of a PNUD Project CHI/87/018 running in the Forest Products Laboratory, Engineering Faculty, University of Concepción.

1.0 Introducción

Durante los años 1988 a 1990 se desarrolló en el Laboratorio de Productos Forestales un Proyecto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo bajo el título de "Aprovechamiento industrial de los eucaliptos".

El módulo de conversión química de este proyecto

incluyó el estudio de muestras de eucaliptos de diferentes especies, preseleccionadas, desde el punto de vista de su aprovechamiento como materia prima fibrosa.

Los ensayos de pulpaje incluyeron madera de *E. globulus* de edades fluctuantes entre 5 y 25 años, además de madera con corteza y cocciones con adición de AQ. También se experimentó con las especies *E. delegatensis*, *E. regnans*, *E. nitens* y *E. viminalis* procedentes de plantaciones de 8 años de la zona de Valdivia y *E. delegatensis* y *E. regnans* de 21 años de la zona de Cautín.

2.0 Muestreo

Se incluyeron muestras correspondientes a:

Zona Concepción

Forestal Mininco	(Fundo Escuadrón)	<i>E. globulus</i> 5 y 10 años
	(Fundo Pinares)	<i>E. globulus</i> 22-25 años

Zona Arauco

Forestal Colcura		<i>E. globulus</i> 5, 8, 10 y 12 años
<i>E. Forestal Arauco</i>	(Santa Marcela)	<i>E. globulus</i> 20 años

Zona Valdivia

Forestal Tornagaleones	(La Promesa)	<i>E. delegatensis</i> 8 años
		<i>E. viminalis</i> 8 años
	(Copihues)	<i>E. nitens</i> 8 años
		<i>E. regnans</i> 8 años

Zona Cautín

Sector Carahue	(Fundo Cullinco)	<i>E. delegatensis</i> 21 años
		<i>E. regnans</i> 21 años

En cada caso, se extrajeron 5 árboles y se cortaron trozas y rodelas distribuidas de tal forma que representaran el fuste completo, con un IU de 5 cm.

La variación de la densidad de la madera en función de la altura en el árbol se muestra en los gráficos N°s 1, 2, 3 y 4.

3.0 Características físicas y químicas de la madera

Las características físicas de la madera se detallan en la Tabla N° 1 como promedio global de los 5 árboles.

Las características químicas determinadas en fracciones representativas de la mezcla de astillas provenientes de los 5 árboles, se detallan en la Tabla N° 2. Se incluye el análisis de una muestra sin descortezar de 10 años.

Tabla N° 1
Características físicas de la madera

Edad	DAP (cm)	Altura útil (IU=5)	Altura total(m) (m)	Densidad verde (kg/m ³)	Duramen (% vol)	Corteza (% vol)	Long. fibra (mm)	Ancho fibra (μ)
Zona		Concepción						
Especie		E. globulus						
5	13,8	9,46	13,10	500	4,7	19,2	0,97	14,5
10	21,2	20,55	24,16	557	29,4	17,7	1,08	14,8
22-25	43,7	28,52	31,32	587	64,7	17,6	1,22	15,7
Zona		Arauco						
Especie		E. globulus						
5	13,2	8,76	13,14	462	—	16,5	0,94	13,8
8	12,2	10,31	16,05	553	—	18,5	0,98	14,8
10	11,7	9,99	15,84	550	—	20,0	0,99	15,4
12	15,1	17,34	22,89	556	—	16,5	1,02	14,8
20	25,5	26,00	29,00	609	47,0	17,4	1,18	1,5
Zona		Valdivia						
Especie		E. delegatensis						
8	15,7	11,96	16,17	415	14,6	18,3	0,83	17,5
Especie		E. viminalis						
8	16,2	12,50	17,25	479	3,5	27,1	0,88	14,5
Especie		E. nitens						
8	17,8	12,05	16,30	412	12,1	13,3	0,88	16,2
Especie		E. regnans						
8	15,9	8,51	13,02	408	29,4	12,6	0,88	16,2
Zona		Cautín						
Especie		E. delegatensis						
21	33,0	22,77	26,17	471	41,0	18,8	0,98	16,2
Especie		E. regnans						
21	31,7	24,40	28,63	449	44,5	10,3	1,03	16,6

SECCION TECNICA

Gráfico N° 1
Densidad vs. Altura fuste
E. globulus diferentes edades. Zona Concepción

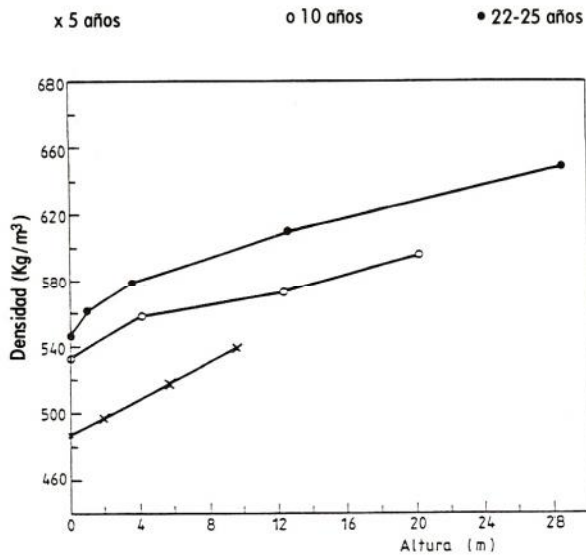


Gráfico N° 2
Densidad vs. Altura fuste
E. globulus diferentes edades. Zona Arauco

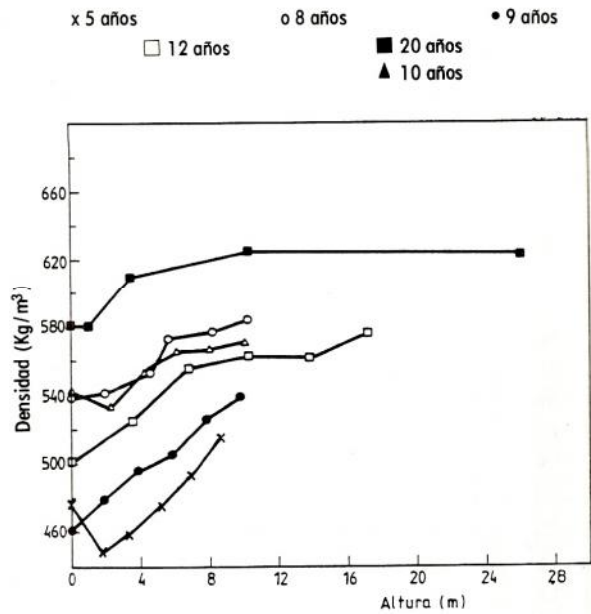


Gráfico N° 3
Densidad vs. Altura fuste
diferentes especies eucaliptos
zona Valdivia

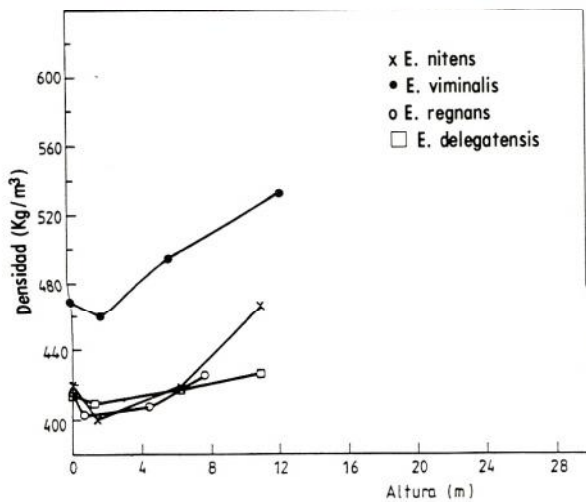


Gráfico N° 4
Densidad vs. Altura fuste
zona Cautín. Diferentes especies de eucaliptos

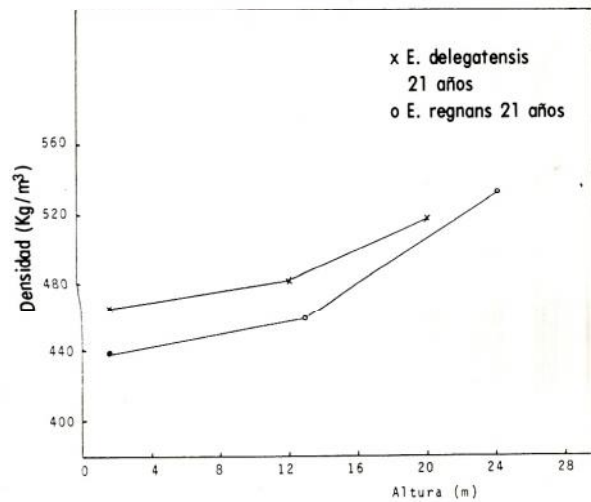


Tabla N° 2
Características químicas de la madera

Edad	Extraíbles Et-Benc. (% bms)	Lignina (% bmsle)	Holocelulosa (% bmsle)	Alfa celulosa (% bmsle)
Zona		Concepción		
Especie		E. globulus		
5	1,04	21,6	78,0	44,3
10	1,05	20,8	81,1	46,9
10(c/corteza)	1,65	21,1	82,0	48,9
22-25	1,37	21,1	81,8	51,3
Zona		Arauco		
Especie		E. globulus		
5	1,09	22,6	83,8	46,9
8	1,02	21,8	81,7	46,0
10	1,15	22,2	83,5	46,7
12	1,07	20,7	83,3	46,1
20	1,86	18,8	85,9	53,6
Zona		Valdivia		
Especie		E. delegatensis		
8	1,78	23,0	79,8	42,9
Especie		E. viminalis		
8	2,42	25,4	80,5	44,9
Especies		E. nitens		
8	1,27	24,9	81,0	40,8
Especie		E. regnans		
8	0,99	23,9	80,6	42,9
Zona		Cautín		
Especie		E. delegatensis		
21	1,96	23,2	77,9	45,2
Especie		E. regnans		
21	1,68	23,0	78,9	43,0

Extraíbles	Tappi T 240 os-76
Lignina	Tappi T 223 om-83
Holocelulosa	Wise (clorito de sodio en medio ácido)
Alfacelulosa	Refinación alcalina de holocelulosa

4.0 Ensayos de pulpaje

4.1 Pulpaje kraft

De acuerdo con antecedentes existentes y ensayos preliminares de verificación se fijaron las condiciones para obtener pulpas con I. Kappa igual a 14 ± 1 .

Digestor: Rotatorio modelo según Dr. Jayme	
Alcalinidad (% A.A. exp. como NaOH)	21
Sulfidez (% exp. como NaOH)	30
Temp. máxima (°C)	165
Tiempo hasta temp. (min.)	80
Tiempo a temp.	variable

Los resultados de los ensayos se describen en la Tabla N° 3.

Las características de las pulpas crudas resultantes se muestran en la Tabla N° 4. En este caso y con el objeto de evaluar las propiedades mecánicas de las pulpas, se refinan en PFI de acuerdo a Tappi T 248 pm-74 con una carga de 1,8 kg-cm. La relación entre los Índices de tensión y de rasgado se muestra en los Gráficos N°s 5, 6, 7 y 8.

SECCION TECNICA

Tabla N° 3
Resultados de los pulpajes kraft

Zona Concepción					
Especie E. globulus					
Edad	5	10	10 c/corteza	22-25	
Tiempo a (min.)	110	85	85	55	
I. Kappa	15,3	14,3	19,6	13,6	
Rend. clasif. (%)	48,7	52,3	52,7	53,7	
Rechazo (%)	0,2	0,1	0,1	0,0	
Alcali residual (g/l)	19,3	20,3	20,6	20,3	
Sólidos en L.N. (% peso)	14,8	14,7	14,8	14,8	
Zona Arauco					
Especie E. globulus					
Edad	5	8	10	12	20
Tiempo a (min.)	115	85	85	87	52
I. Kappa	14,0	14,4	13,9	13,3	13,5
Rend. clasif. (%)	49,2	50,0	49,8	51,3	53,9
Rechazo (%)	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1
Alcali residual (g/l)	—	17,5	—	19,0	18,3
Sólidos en L.N. (% peso)	14,8	15,2	14,8	15,3	15,0
Zona Valdivia					
Especie E. delegatensis					
Edad	8 años				
Tiempo a (min.)	58				
I. Kappa (-)	15,4				
Rend. clasif. (%)	50,5				
Rechazo (%)	0,2				
Alcali residual (g/l)	19,1				
Sólidos en L.N. (% peso)	15,0				
Especie E. regnans					
Edad	8 años				
Tiempo a (min.)	58				
I. Kappa (-)	15,8				
Rend. clasif. (%)	50,2				
Rechazo (%)	0,1				
Alcali residual (g/l)	19,3				
Sólidos en L.N. (% peso)	15,3				
Especie E. nitens					
Edad	8 años				
Tiempo a (min.)	124				
I. Kappa (-)	15,7				
Rend. clasif. (%)	48,3				
Rechazo (%)	0,1				
Alcali residual (g/l)	17,2				
Sólidos en L.N. (% peso)	14,0				

(Continuación de Tabla N° 3)

Especie <i>E. viminalis</i>		
Edad	8 años	
Tiempo a (min.)	120	
I. Kappa (-)	15,0	
Rend. clasif. (%)	46,9	
Rechazo (%)	0,1	
Alcali residual (g/l)	16,5	
Sólidos en L.N. (% peso)	15,4	
Zona Cautín		
Especie	<i>E. delegatensis</i>	<i>E. regnans</i>
Edad	21 años	21 años
Tiempo a (min.)	35	35
I. Kappa	14,8	15,7
Rend. clasif. (%)	51,3	51,8
Rechazo (%)	0,2	0,2
Alcali residual (g/l)	21,8	19,4
Sólidos en L.N. (% peso)	14,9	13,8

Condiciones de pulpeje:

Digestor: Rotatorio modelo según Dr. Jayme

Alcalinidad (% A.A. como NaOH)	21
Sulfidez (% como NaOH)	30
Temp. máx. (°C)	165
Tiempo hasta (min.)	80

Gráfico N° 5

I. Rasgado vs. I. Tensión. Zona Concepción
E. globulus

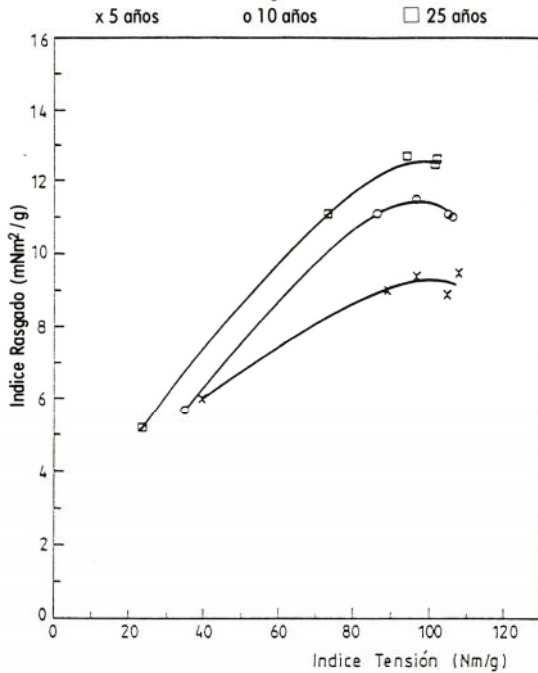
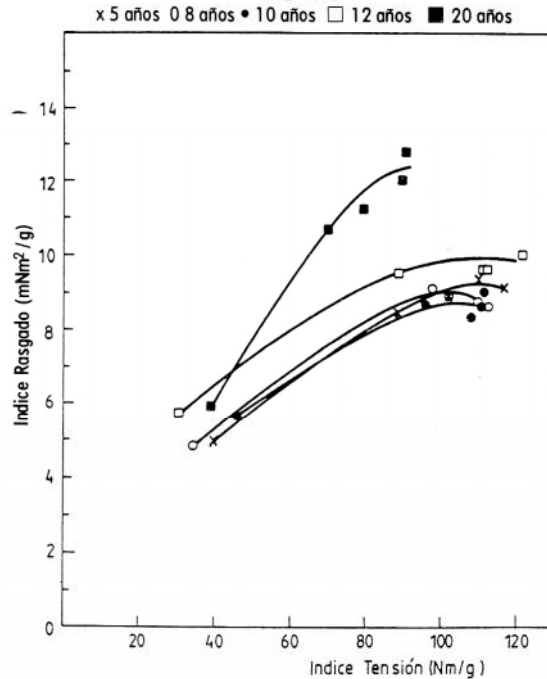


Gráfico N° 6

I. Rasgado vs. Índice Tensión. Zona Arauco
E. globulus



SECCION TECNICA

Tabla N° 4
Características de las pulpas crudas

Zona Concepción Especie E. glubulus								
Edad	Long. fibra (mm)	Coarseness (mg/100 m)	Rev. PFI (-)	Drenaje (°SR)	Vol. espec. (cm ³ /g)	I. Tensión (Nm/g)	I. Rasgado (mNm ² /g)	I. Expl. (KPam ² /g)
5	0,84	5,86	0	17	2,13	39,7	6,1	2,0
			4000	28	1,58	89,5	9,0	6,3
			8000	34	1,49	97,0	9,4	7,6
			12000	44	1,38	107,9	9,5	8,5
			16000	50	1,36	103,2	8,9	9,1
10	0,96	6,51	0	16	2,31	34,8	5,7	1,7
			4000	23	1,72	85,7	11,1	6,4
			8000	30	1,60	96,5	11,5	7,2
			12000	36	1,47	115,3	11,1	8,8
			16000	42	1,43	115,0	11,0	9,5
10 (c / corteza)	—	—	0	15	2,29	38,9	6,3	1,9
			4000	25	1,70	99,0	11,0	6,8
			8000	30	1,58	106,0	11,0	7,7
			12000	41	1,49	113,1	11,2	9,4
			16000	46	1,44	119,3	11,7	9,4
22-25	1,01	7,11	0	17	2,70	23,2	5,2	1,3
			4000	20	1,91	72,7	11,1	4,6
			8000	27	1,69	94,3	12,7	6,5
			12000	34	1,66	101,5	12,6	7,2
			16000	41	1,62	101,3	12,5	7,8
Zona Arauco Especie E. glubulus								
5	0,79	5,87	0	15	2,11	39,9	4,9	1,8
			4000	25	1,68	88,6	8,4	5,2
			8000	32	1,56	102,1	8,9	7,4
			12000	41	1,46	110,5	9,3	8,2
			16000	49	1,42	117,2	9,1	8,6
8	0,83	6,45	0	16	2,04	35,1	4,8	1,6
			4000	27	1,56	88,1	9,1	6,1
			8000	33	1,45	102,1	8,9	7,7
			12000	41	1,42	110,1	8,8	8,1
			16000	49	1,35	113,1	8,6	8,4
10	0,85	6,29	0	16	2,06	45,9	5,6	2,4
			4000	27	1,57	96,0	8,7	6,5
			8000	33	1,46	111,2	8,6	8,1
			12000	39	1,43	111,3	9,0	8,5
			16000	46	1,37	108,2	8,3	8,9
12	0,88	6,20	0	15	1,79	31,3	5,7	1,7
			4000	24	1,64	89,0	9,5	6,4
			8000	29	1,48	112,8	9,6	7,7
			12000	35	1,49	110,7	9,8	8,1
			16000	44	1,39	122,1	10,0	9,1

Zona Arauco								
Especie <i>E. globulus</i>								
Edad	Long. fibra (mm)	Coarseness (mg/100 m)	Rev. (-)	Drenaje (°SR)	Vol. espec. (cm ³ /g)	I. Tensión (Nm/g)	I. Rasgado (mNm ² /g)	I. Expl. (KPam ² /g)
20	1,05	7,32	0	15	2,35	39,3	5,9	2,0
			4000	18	1,88	70,3	10,7	4,4
			8000	24	1,79	79,7	11,2	5,2
			12000	30	1,62	90,9	12,8	6,5
			16000	34	1,63	90,8	12,0	6,3
Zona Valdivia								
Especie <i>E. delegatensis</i>								
8	0,79	5,55	0	18	1,46	62,1	7,8	4,1
			4000	31	1,29	106,0	7,3	7,5
			8000	37	1,24	110,4	7,6	8,5
			12000	43	1,23	110,5	7,2	8,7
			16000	48	1,18	109,2	7,3	8,6
Especie <i>E. regnans</i>								
8	0,76	5,79	0	19	1,47	72,2	8,1	4,4
			4000	33	1,29	106,1	7,5	7,8
			8000	36	1,23	113,8	7,4	8,7
			12000	43	1,22	114,7	7,4	9,1
			16000	49	1,21	97,1	6,9	6,5
Especie <i>E. nitens</i>								
8	0,85	4,76	0	20	1,41	83,5	6,8	5,2
			4000	32	1,20	120,7	6,6	9,4
			8000	37	1,16	124,4	6,1	9,8
			12000	42	1,16	130,2	6,2	9,7
			16000	48	1,14	121,1	5,8	9,9
Especie <i>E. viminalis</i>								
8	0,81	5,30	0	16	1,82	53,0	5,4	2,8
			4000	27	1,46	94,3	8,4	6,4
			8000	33	1,39	102,6	8,2	7,8
			12000	40	1,34	105,7	8,4	7,8
			16000	47	1,33	104,3	9,4	8,2
Zona Cautín								
Especie <i>E. delegatensis</i>								
21	0,86	5,79	0	16	1,86	46,3	7,7	3,4
			4000	23	1,50	84,9	11,2	6,5
			8000	26	1,42	92,1	10,5	7,5
			12000	29	1,41	100,6	10,2	7,9
			16000	34	1,41	96,3	10,5	7,7
Especie <i>E. regnans</i>								
21	0,89	5,98	0	16	1,68	64,2	8,9	4,1
			4000	24	1,41	96,0	9,4	7,1
			8000	26	1,37	103,5	9,9	7,8
			12000	32	1,33	112,7	9,3	7,6
			16000	36	1,32	108,1	9,4	8,7

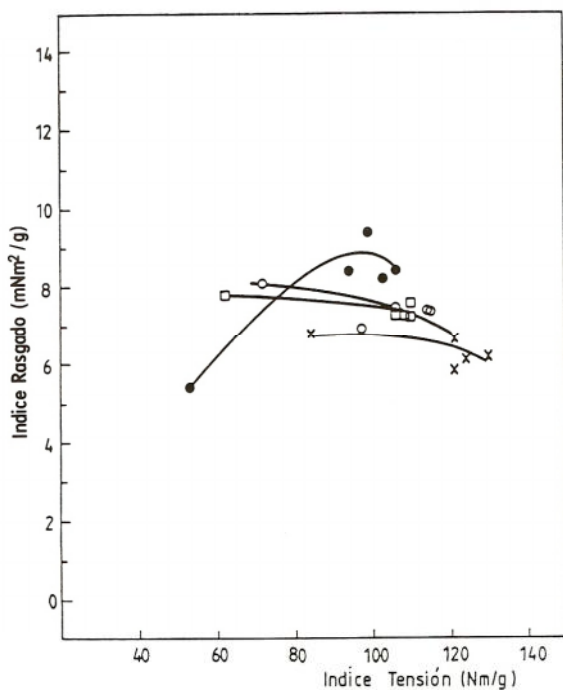
SECCION TECNICA

Gráfico N° 7

I. Rasgado vs. Índice Tensión. Zona Valdivia

x E. nitens • E. viminalis o E. regnans

□ E. delegatensis



4.2 Blanqueo de pulpa con corteza

Se efectuó un ensayo de blanqueo comparativo de las pulpas de madera con corteza y sin corteza obtenidas con E. globulus de 10 años. Al efecto, se experimentó con

la secuencia C/D EDED, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla N° 5. Cabe hacer notar que la pulpa blanca de madera con corteza no presentó pintas.

4.3 Pulpas alcalinas con antraquinona

Se efectuaron ensayos soda-AQ y kraft-AQ con madera de E. globulus de 10 años, para visualizar su comportamiento.

Las condiciones de los pulpajes y sus resultados se incluyen en la Tabla N° 6.

Gráfico N° 8

I. Rasgado vs. Índice Tensión. Zona Cautín

X. E. delegatensis o E. regnans

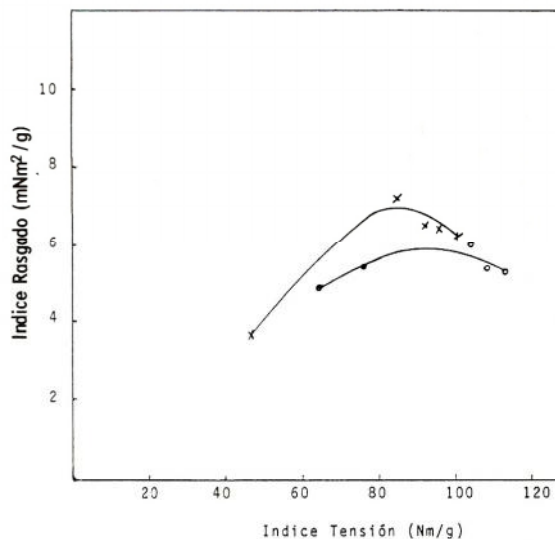


Tabla N° 5

Condiciones y resultados de las experiencias de blanqueo.

	pulpa s/corteza	pulpa c/corteza
I. Kappa (-)	13,6	19,6
Consumo: Cloro (% b.p.s.)	3,3	4,8
NaOH (% b.p.s.)	1,22	0,99
ClO ₂ (% b.p.s.)	1,29	1,36
NaOH (kg/Ton)	12,24	9,94
Cloro total (Kg/Ton)	67,7	85,1
Blancura (% Elrepho)	87,5	87,0

Tabla N° 6
Condiciones y resultados de las experiencias de pulpaje alcalino-AQ

Respuestas Condiciones	Indice Kappa (-)	Rendimiento total (% b.m.s.)	Rechazo (% b.m.s.)	Sólidos (% peso)	A. residual (g/l)
18% NaOH	18,1	52,9	0,3	13,4	18,3
21% NaOH	14,7	51,1	0,2	14,3	23,5
18% A.A. -10%S	13,2	52,7	0,3	14,6	18,3
21% A.A. -15%S	12,1	51,5	0,0	14,1	22,6

Condiciones fijas:

Antraquinona (% b.m.s.) 0,05

Temperatura Máxima (°C) 165

Tiempo hasta temp. máx(min.) 80

Tiempo a temp. máxima (min.) 85

5.0 Comentarios

Se observa que la densidad de la madera de la especie *E. globulus* fluctúa entre 400 kg/m³ y 610 kg/m³ dependiendo de la edad; la procedencia (Concepción y Arauco) no parece influir demasiado, aunque se observa una diferencia favorable en las edades bajas de la zona de Concepción. En esta misma zona el margen alto de edad se indica como 22-25, anotándose que es muy difícil establecer con exactitud la edad en sectores donde ha habido intervenciones, replantes y rebrotes no controlados.

Las otras especies incluidas en el estudio, para las mismas edades, muestran densidad más baja.

La longitud de fibra, para todos los casos, se mueve entre 0,83 y 1,22 con valores más altos para la especie *E. globulus* y las especies *E. delegatensis* y *E. regnans* de 21 años.

También, en general, las fibras son finas, con valores que oscilan entre 13,8 y 17,5 μ .

La variación de densidad con la altura del fuste, que se muestra en los Gráficos N°s 1, 2, 3 y 4, permite apreciar un aumento de densidad con la altura, situación opuesta a la observada en la especie *P. radiata*.

El análisis químico (Tabla N° 2), indica valores relativamente bajos de extraíbles; el contenido de lignina fluctúa entre 18,8 y 25,4, este último valor correspondiente a la especie *E. viminalis*. La especie *E. globulus* presenta los valores en el margen bajo del recorrido.

Los ensayos de pulpaje aplicando condiciones similares en cuanto a carga de reactivos y temperatura máxima, con tiempo de reposo variable, permiten alcanzar el valor buscado de Índice Kappa alrededor de 14, en tiempos decrecientes cuando aumenta la edad, situación que se observa en los ensayos con *E. globulus*, con *E. delegatensis* y *E. regnans*.

tensis y *E. regnans*.

Los rendimientos son altos, fluctuando en el margen entre 48,7 y 53,9%, en término de rendimientos aceptados, para la especie *E. globulus*, con una dependencia directa respecto de la edad. No se observa una diferencia en el rendimiento, pero sí en el Índice Kappa cuando se trabaja con madera con corteza.

En el resto de las especies se observa el valor más bajo de 46,9% para la especie *E. viminalis*.

La resistencia mecánica de las pulpas crudas está en el margen aceptable, apreciándose en los gráficos N°s 5, 6, 7 y 8 una ordenación creciente del rasgado proporcionalmente con la edad, al igual que la tensión, para el caso de *E. globulus*. Los valores máximos son más bajos cuando se comparan las otras especies ensayadas.

El blanqueo de las pulpas con y sin corteza no muestra variación importante en blancura final, pero sí en los consumos de cloro, donde se observa un valor mayor en el caso de la pulpa con corteza, en un 26%, aproximadamente. Resulta interesante la observación efectuada en cuanto a la ausencia de pintas en la pulpa blanca de la madera con corteza.

Los ensayos de cocción alcalina con adición de antraquinona demuestran que es posible obtener deslignificación adecuada, del mismo orden de la obtenida con el proceso kraft, en las mismas condiciones, pero que ésta es más acentuada si hay presencia de sulfidez adicional.

BIBLIOGRAFIA

Melo, R. y colab. "Informes de Avance N°s 1 y 2. Proyecto PNUD CHI/87/018: Aprovechamiento Industrial de los Eucaliptos". Lab. Prod. Forest. Fac. Ing. U. de C. (1989-90).