

# **CARACTERIZACIÓN DE LA CELULOSA DE ESPECIES DEL GÉNERO EUCALYPTUS PLANTADAS EN URUGUAY**

**Ing. Agr. (MSc) Fernando Resquin <sup>1</sup>**

**Ing. Agr. José De Mello <sup>1</sup>**

**Ing. Agr. Ismael Fariña <sup>1</sup>**

**Ing. Agr. (MSc) Juan Mieres <sup>2</sup>**

**Lab. Asist. Laura Assandri <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Programa Forestal INIA Tacuarembó

<sup>2</sup> Laboratorio NIRS. INIA La Estanzuela

Titulo: CARACTERIZACIÓN DE LA CELULOSA DE ESPECIES  
DEL GÉNERO EUCALYPTUS PLANTADAS EN URUGUAY

Autor: Ing. Agr. (MSc) Fernando Resquin  
Ing. Agr. José De Mello  
Ing. Agr. Ismael Fariña  
Ing. Agr. (MSc) Juan Mieres  
Lab. Asist. Laura Assandri

Serie Técnica N° 152

© 2005, INIA

ISBN: 9974-38-213-0

Editado por la Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA.  
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay  
Página Web: <http://inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Se terminó de imprimir en la imprenta Caligráficos S.A. en el mes de setiembre de 2005.  
Luis Surraco 2581 • Tel.: (02) 480 3095 • 486 0070  
Montevideo - Uruguay  
E-mail: [caligraf@adinet.com.uy](mailto:caligraf@adinet.com.uy)

Depósito Legal N° 334.807

# Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

---

## Integración de la Junta Directiva

**Ing. Agr. PhD. Pablo Chilbroste** - Presidente

**Ing. Agr. Dr. Mario García** - Vicepresidente



**Ing. Agr. Eduardo Urioste**

**Ing. Aparicio Hirschy**



**Ing. Agr. Juan Daniel Vago**

**Ing. Agr. Mario Costa**





# Índice

1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
PARAMETROS DEL PULPEO Y BLANQUEO DE LAS ESPECIES DE EUCALYPTUS .....	12
a) <i>Eucalyptus globulus</i> .....	12
a.1) Caracterización de fuentes de semilla en zonas 2, 7 y 9 .....	12
a.2) Relaciones entre la densidad de la madera y los parámetros del pulpeo .....	29
a.3) Efecto de la carga de álcali activo sobre el pulpeo y blanqueo .....	31
a.4) Efecto de agentes patógenos sobre los parámetros del pulpeo .....	32
b) <i>Eucalyptus maidenii</i> .....	34
b.1) Caracterización de fuentes de semilla en zonas 2, 7, 8 y 9 .....	34
b.2) Relaciones entre la densidad de la madera y los parámetros del pulpeo .....	44
b.3) Efecto de la carga de álcali activo sobre el pulpeo y blanqueo .....	46
c) <i>Eucalyptus grandis</i> .....	47
c.1) Caracterización de fuentes de semilla en zonas 7, 8 y 9 .....	47
c.2) Relaciones entre la densidad de la madera y los parámetros del pulpeo .....	57
c.3) Efecto de la carga de álcali activo sobre el pulpeo y blanqueo .....	59
d) <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	63
d.1) Caracterización de fuentes de semilla en zonas 7 y 8 .....	63
d.2) Relaciones entre la densidad de la madera y los parámetros del pulpeo .....	69
d.3) Efecto de la carga de álcali sobre el pulpeo y el blanqueo .....	70
4. ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD Y EL RENDIMIENTO MEDIANTE EL USO DEL NIRS .....	72
5. CONCLUSIONES .....	74
6. AGRADECIMIENTOS .....	76
7. LITERATURA CONSULTADA .....	76



# Caracterización de la celulosa de especies del género *Eucalyptus* plantadas en Uruguay

## 1. INTRODUCCIÓN

Las especies de *Eucalyptus* plantadas en Uruguay presentan un panorama diferente en cuanto al área, regiones de plantación, nivel de aceptación en los mercados internacionales y potencial papelerero.

Si bien la mayor parte del área plantada está ocupada con *Eucalyptus globulus* (más del 40%), existe una superficie importante de otras especies tales como *E.grandis*, *E.maidenii* y *E.dunnii*, entre otras.

A pesar de que estas especies en general poseen maderas de buenas características para la producción de pulpa y papel, varios estudios indican que existen una amplia gama de factores que determinan importantes diferencias en cuanto a la calidad de la celulosa. Entre estos, la fuente de semilla (origen), el sitio de plantación y la edad de los árboles se mencionan como los más importantes a considerar.

Teniendo en cuenta las fuentes de variación mencionadas, el Programa Forestal del INIA (PNF) viene desarrollando desde 1993 planes de mejoramiento genético para las principales especies de *Eucalyptus* utilizadas en Uruguay.

Hasta el momento, las evaluaciones han sido realizadas desde el punto de vista del crecimiento pero dada la edad de los materiales genéticos que se están evaluando surge la necesidad de iniciar trabajos en el área de propiedades de la madera para la producción de celulosa.

En función de la importancia de contar con información de una amplia lista de materiales

en evaluación en el Programa Forestal del INIA así como de las principales especies plantadas a nivel comercial desde el punto de vista de la pulpa y el papel, se comenzó la ejecución de un proyecto en convenio con el LATU, la SPF y financiado por el Ministerio de Educación y Cultura (PDT<sup>1</sup>). Este proyecto titulado “Caracterización de la calidad de la celulosa y el papel de especies del género *eucalyptus* plantadas en Uruguay” tuvo un período de ejecución de dos años a partir de Abril de 2003 hasta Marzo de 2005.

Los objetivos del mencionado proyecto son:

- Caracterizar la pulpa de las principales especies de *Eucalyptus* plantadas en el país desde el punto de vista de su rendimiento y calidad.
- Identificar, para cada especie, los mejores orígenes desde el punto de vista de la calidad de la madera para la producción de celulosa.
- Determinar, para cada especie, el posible patrón de variación del rendimiento y la calidad de la celulosa en función del sitio de plantación (zonas del país).
- Desarrollar la metodología del NIRS para estimar la densidad de la madera y el rendimiento en pulpa a partir de muestras extraídas a árboles en pie.

NIRS, es la abreviatura de “Near Infrared Reflectance Spectroscopy”, que traducido quiere decir espectroscopia de infra rojo cercano. El éxito del NIRS puede atribuirse en gran parte a su habilidad para realizar análisis rápidos cuantitativos y cualitativos de muchos

<sup>1</sup> Programa de Desarrollo Tecnológico

componentes en una muestra con un mínimo de preparación o incluso en algunos casos sin preparación previa.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se extrajeron muestras de cinco ensayos de *Eucalyptus globulus*, tres de *Eucalyptus maidenii*, tres de *Eucalyptus grandis* y dos de *Eucalyptus dunnii* de la red de ensayos del PNF del INIA. Cada uno de estos ensayos está repetido en varias zonas de prioridad forestal y en cada sitio se eligieron los orígenes con un crecimiento superior a la media de cada ensayo (excepto en el ensayo 87 en donde se evaluaron todos las fuentes de semilla). En los Cuadros 1, 2, 3, 4 y 5 del anexo I se presentan las principales características de los ensayos.

A esto hay que sumarle 7 de las fuentes de semilla más usadas a nivel comercial de las especies mencionadas. En total se están evaluando 20 orígenes de *E. globulus*, 7 orígenes de *E. maidenii*, 17 orígenes de *E. grandis* y 5 orígenes de *E. dunnii* en su mayoría provenientes de Australia.

La lista de materiales genéticos de las especies evaluadas se presentan en los cuadros 6, 7, 8 y 9 del anexo II.

Para el caso de *E. globulus*, a excepción de un lote de semilla que fue colectado en una plantación ubicada en la región sureste del país (Lavalleja), el resto de los materiales evaluados provienen del área de distribución natural de esta especie que corresponde a la región sur del estado de Victoria (Australia), el estrecho de Bass y la isla de Tasmania (Cuadro 6, anexo II).

Para *E. grandis*, en las pruebas de progenie (ensayos 21, 22 y 23 de la base de datos) se evaluaron materiales en su mayoría provenientes de la región de Coffs Harbour en el estado de Nueva Gales del Sur (Australia). En el ensayo de rendimiento (ensayo 87) se evaluaron materiales provenientes de Australia, Sud Africa y tres fuentes de semilla local, dos de las cuales fueron colectadas en huertos semilleros de 1<sup>era</sup> generación (Cuadro 7, anexo II).

Para *E. maidenii* todos los lotes de semilla evaluados provienen del estado de Nueva Gales del Sur (Australia) (Cuadro 8, anexo II). En el caso de *E. dunnii* se evaluaron materiales provenientes del área de distribución natural de esta especie (costa este Australia) y un lote procedente del centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Cuadro 9, anexo II).

De cada material genético se seleccionaron árboles tratando de muestrear la variabilidad existente en cuanto al crecimiento dentro de cada ensayo. Para esto, sin considerar ni los árboles suprimidos ni los de borde, se seleccionaron árboles pertenecientes a tres clases diamétricas: 3 árboles del estrato de menor diámetro, 5 árboles del estrato intermedio y 3 árboles del estrato de mayor diámetro.

A los árboles seleccionados se les midió el DAP y luego de apeados se les midió la altura comercial hasta un diámetro de 8 cm. con corteza. De cada uno de ellos se extrajeron muestras ("discos") a diferentes alturas (0, 25, 50, 75 y 100% de la altura comercial, Figura 1).



Figura 1. Muestras extraídas a diferentes alturas del árbol



En cada uno de los “discos” fue medido el diámetro con y sin corteza y con la altura comercial fue estimada la proporción de corteza en volumen y el volumen sin corteza por árbol y por hectárea para cada origen. De cada “disco” se extrajo una muestra para determinar la densidad básica de la madera (*Db*). Para la densidad se utilizó el peso seco en estufa a  $103 \pm 2$  °C y el volumen verde fue medido por desplazamiento de agua.

Otra porción de cada uno de los discos fue chipeada manualmente para obtener una muestra compuesta de chips de cada uno de los estratos diamétricos mencionados.

Previo clasificación de los chips se condujeron los ensayos de pulpeo kraft en un digestor rotativo con cuatro cápsulas, cada una con una capacidad para aproximadamente 250 g de madera seca (Figuras 2 y 3). Las condiciones de cocimiento, tratando de obtener un Índice Kappa de  $18 \pm 1$ , fueron las siguientes:

Temperatura máxima (°C)	170
Sulfidez (%)	25
Tiempo hasta temp. Máxima (min)	90
Tiempo a la max. Temp. (min)	50
Relación licor/madera	3.5/1
Alcali activo (% como Na <sub>2</sub> O)	variable

Una vez obtenidas las pulpas se determinó:

- rendimiento depurado (*Rd*)
- proporción de rechazo (Norma TAPPI T 204 om 88)
- índice Kappa (Norma TAPPI T-236 om 85-1998)

- consumo específico de madera (C.E.)
- tenor de sólidos secos por tonelada de celulosa (*Tss*)

El consumo de madera y el tenor de sólidos secos fueron calculados usando las siguientes fórmulas:

$$C.E. = \frac{1}{Db * Rd}$$

$$Tss = \frac{(1 - Rd/100) * Db * C.E.}{Rd/100}$$

Con el valor de volumen por há, la densidad básica y el rendimiento depurado fueron estimados los valores de producción de pulpa por há.

En el ensayo 37, a partir de la evaluación sanitaria realizada por Balmelli, et al., 2004, se identificaron árboles con síntomas de ataque de cancro e inocutis de cinco de los orígenes evaluados (Figuras 4 y 5). De cada origen se seleccionaron 11 árboles los cuales fueron muestreados en forma diferente en función del tipo de enfermedad considerado. En los árboles con presencia de podredumbre causada por inocutis se cortaron discos extraídos en la troza basal hasta una altura en donde se verificaba visualmente la presencia del hongo causal. En los árboles con presencia de canchros se extrajeron discos a distintas alturas de forma de contar con una cantidad de madera suficiente para hacer los análisis de pulpeo.



Figura 2. Vista lateral del digestor



Figura 3. Vista superior del digestor con chips en el interior de las cápsulas



Figura 4. Madera con presencia de canchros en la corteza



Figura 5. Madera con podredumbre causada por inocutis

Estos análisis fueron realizados con el mismo procedimiento que el mencionado en los párrafos anteriores.

Para los ensayos de blanqueo, una vez obtenidas las pulpas de cada una de las clases diamétricas de cada origen, se procedió a formar una muestra compuesta constituida por una mezcla de las pulpas obtenidas. La proporción de pulpa de cada una de las clases diamétricas usadas para formar la muestra compuesta fué estimada en función del volumen que cada clase diamétrica representa en el total del volumen de cada origen.

Con las pulpas se condujeron los ensayos de blanqueo, tratando de obtener un valor de grado de blanco próximo a 90% ISO (Norma TAPPI T 525 om 92), mediante una secuencia libre de cloro elemental (ECF) del tipo OD<sub>0</sub>(E<sub>p</sub>)D<sub>1</sub>P según se detalla en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Condiciones de blanqueo aplicado para *E.globulus*, *E.maidenii* y *E.dunnii*

	Consist. (%)	Temp (°C)	Presión (kg)	Tiemp. (hs.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (%)	NaOH (%)	ClO <sub>2</sub> (%)	MgSO <sub>4</sub> (%)	Silicato (%)	Edta (%)
O	10	100	5	1		2		0.5		
Do	12	70-75		1			0.8			
Ep	12	85-90		2	0.5	1		0.5	3.5	0.5
D1	12	70		2			0.4			
P	10	70		2.5	0.4	0.5				

Cuadro 2. Condiciones de blanqueo aplicado para *E.grandis*

	Consist. (%)	Temp (°C)	Presión (kg)	Tiemp. (hs.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (%)	NaOH (%)	ClO <sub>2</sub> (%)	MgSO <sub>4</sub> (%)	Silicato (%)	Edta (%)
O	10	100	5	1		2		0.5		
Do	12	70-75		1			1			
Ep	12	85-90		2	0.5	1.3		0.5	3.5	0.5
D1	12	70		2			0.5			
P	10	70		2.5	0.4	0.5				



Figura 6. Pulpas con diferentes niveles de remoción de la lignina residual

Las diferentes etapas del blanqueo produjeron pulpas con grados crecientes de blancura según se muestra en la figura 6.

Luego de completada toda la secuencia de blanqueo se midieron los siguientes parámetros:

- consumo de  $\text{ClO}_2$  por unidad de Kappa que se baja en el blanqueo ( $\text{Kg Cl}_2/\text{DKappa}$ )
- consumo de  $\text{ClO}_2$  ( $\text{Kg Cl}_2$  por tonelada de celulosa)
- viscosidad intrínseca (Norma TAPPI T 230 om 89)

Las pulpas obtenidas fueron refinadas en un molino PFI (Norma Tappi 248 sp 00) hasta obtener un grado de refinado de  $25 \pm 2$  °SR (Norma Tappi 297 om 99). Con las pulpas refinadas se formaron hojas (Norma Tappi T 205 sp 02) para determinar las siguientes propiedades físicas y mecánicas (acondicionadas según Norma Tappi T 402 sp 03):

- Gramaje (Norma Tappi T 220 sp 01)
- Resistencia a la tracción (Norma Tappi 494 om 01)
- Resistencia al estallido (Norma Tappi T 403 om-02)
- Resistencia al rasgado (Norma Tappi T 414 om-98)

Para las variables proporción de corteza, densidad básica, requerimientos de álcali activo, rendimiento en pulpa, proporción de rechazo, consumo específico y tenor de sólidos por tonelada de cel. fue realizado el análisis de varianza mediante la prueba F y contrastes de

medias a través del test de Duncan al 5% de significación. Los valores obtenidos con las muestras provenientes de cada clase diamétrica fueron usados como repeticiones para el análisis estadístico.

Para los análisis con el NIR's se seleccionaron 100 árboles de *E. globulus* de 12 años de edad de una plantación comercial en la zona de Villa Serrana, Lavalleja. De cada árbol se extrajeron dos conjuntos de muestras: uno constituido por varios discos de aproximadamente 3 cm de espesor y por otro lado un tarugo de 5 mm de diámetro desde la corteza hasta la médula. En ambos casos la altura de muestreo fue 1.3 - 1.4 m. de forma de muestrear la misma región del árbol con los dos tipos de muestras.

De cada disco se extrajo una muestra con forma de "cuña" para determinar la densidad básica mientras que el resto de las muestras fueron chipeadas manualmente para determinar el rendimiento en pulpa. La densidad y el rendimiento fueron medidos con el mismo procedimiento que el citado en párrafos anteriores. Los tarugos fueron secados al aire hasta un contenido aproximado de humedad de 10% y luego fueron molidas en un molino tipo Willey con malla de 1 milímetro para luego ser leídas a través del NIRS (escaneadas).

El aparato usado fue un NIR system 6500, Silver Spring, MD, USA. Para el escaneo se usó una cápsula de 50mm de diámetro y 2mm de espesor. Las muestras fueron escaneadas en el modo reflectancia entre 400 y 2500 nm. Los datos espectrales se analizaron usando

el software WinISI versión 1.5 (Infrasoft International, LLC). Estos fueron almacenados en unidades de absorbancia como el logaritmo de del inverso de la reflectancia ( $\log 1/R$ ) a intervalos de 2 nm. Para el desarrollo de las ecuaciones de calibración se utilizó la técnica de regresión MPLS (cuadrados mínimos parciales modificado) usando validación cruzada. Las muestras fueron divididas en dos grupos, el primero para calibrar la ecuación y el segundo, el cual tenía el 20 por ciento de las muestras para validar la misma. El programa se configuró para que el pase de eliminación de los «outliers» se realizase hasta dos veces antes de completar la calibración final. El tratamiento matemático utilizado fue 1.4.4.1. Donde el primer número (1) indica la primera derivada del  $\log 1/R$ , el segundo (4) es la distancia en el ajuste (del inglés GAP) en nm sobre el cual la derivada es calculada, el tercer número (4) es el número de nm usado en la primera «suavización» (del inglés smoothing) y el cuarto número (1) está referido al número de nm sobre la cual la segunda «suavización» es aplicada.

### 3. RESULTADOS y DISCUSIÓN

#### PARAMETROS DEL PULPEO Y BLANQUEO DE LAS ESPECIES DE EUCALYPTUS

##### a) *Eucalyptus globulus*

##### a.1) Caracterización de fuentes de semilla en zonas 2, 7 y 9

##### • **Ensayo en Marmarajá, (Lavelleja) - E 49**

Del análisis de varianza surge que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables volumen y proporción de corteza evaluados al octavo año (Cuadro 3). Los orígenes de mayor crecimiento son el 23 «SSE of Geeveston» y 5 «Jeeralang North» con valores de IMA de 38.8 y 37.4 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. El resto de los orígenes presentan valores estadísticamente similares entre sí. A su vez estos dos orígenes son los que tienen el mayor y menor valor de proporción de corteza con 18.1 y 13.4%, respectivamente.

El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 4). La tendencia observada es que el origen 5 «Jeeralang North» requiere niveles algo superiores de álcali activo (14.3%) que el resto de los materiales evaluados para obtener un mismo grado de deslignificación (IK). De modo general, sucede que maderas más densas presentan paredes de fibras de mayor espesor lo cual dificulta la penetración del licor de cocimiento en comparación con maderas menos densas (fibras con paredes más finas). Otros factores que pueden estar influyendo sobre los requerimientos de reactivos durante el pulpeo tienen que ver con la composición química de la madera como por ejemplo el contenido de lignina y de extractivos. Si bien estos parámetros no fueron medidos en este proyecto, resultados de estudios anteriores con esta especie muestran que existe poca variabilidad en la composición química de diferentes fuentes de semilla de *E.globulus*.

Cuadro 3. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E.globulus*

Código	Origen	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
5	Jeeralang North.VIC	299.2 ab	37.4	18.1 <sup>a</sup>
15	NE New Norfolk TAS	200.9 b	25.1	15.5 b
16	Moogara TAS	190.6 b	23.8	16.3 b
19	S of Geeveston. TAS	261.6 <sup>ab</sup>	32.7	13.1 c
23	SSE of Geeveston TAS	310.4 <sup>a</sup>	38.8	13.4 c
22	NW of Dover	194.2 b	24.3	13.6 c
18	Snug Tiers RD Sung TAS	231.9 <sup>ab</sup>	29.0	15.5 b

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 4.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E.globulus*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
5	14.3 <sup>a</sup>	18.6	51.8 <sup>b</sup>	0.3 <sup>a</sup>
15	13.6 <sup>ab</sup>	18.8	52.8 <sup>ab</sup>	0.2 <sup>a</sup>
16	13.2 <sup>ab</sup>	17.8	53.0 <sup>ab</sup>	0.2 <sup>a</sup>
19	13.1 <sup>b</sup>	17.9	54.9 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>
23	13.0 <sup>b</sup>	18.9	55.0 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>
22	13.3 <sup>ab</sup>	17.6	53.2 <sup>ab</sup>	0.1 <sup>a</sup>
18	13.9 <sup>ab</sup>	18.3	52.8 <sup>ab</sup>	0.2 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

Con respecto al rendimiento depurado se observa que a excepción del origen 5 “Jeeralang North” que presenta el valor más bajo (51.8%), el resto de los materiales muestra valores estadísticamente similares destacándose los orígenes 23 “SSE of Geeveston” y 19 “S of Geeveston” con 55%. Analizando los valores se observa la existencia de una relación negativa entre los requerimientos de álcali activo y el rendimiento en pulpa. Esto estaría explicado por el hecho de que el uso de mayores cargas de reactivos durante el proceso de pulpeo determina una mayor degradación de las fibras y por lo tanto pérdida de material celulósico. Los valores de rechazo son bajos e iguales para todos los materiales.

En este caso el análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre orígenes para la densidad básica y el consumo específico pero no para el tenor de sólidos por tonelada de celulosa (Cuadro 5). Los orígenes que presentan la mayor densidad básica

son el 5 “Jeeralang North” y el 19 “S of Geeveston” con 0.522 y 0.498 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. El valor más bajo corresponde al origen 16 “Moogara” con 0.468 g/cm<sup>3</sup>. Estos valores de densidad básica asociados a los valores de rendimiento en pulpa determinan que este último origen sea el que muestra el mayor valor de consumo específico (4.0 m<sup>3</sup>/ton. cel.). El resto de los materiales evaluados presentan valores que oscilan de 3.7 a 3.9 m<sup>3</sup>/ton. cel. En términos generales se observa que la menor densidad es compensada por un mayor rendimiento en pulpa de modo que los valores de consumo de madera, salvo para el origen 16 “Moogara”, son relativamente similares para todos los materiales. Considerando la producción de pulpa por hectárea, se observa que la mayor diferencia entre orígenes esta determinada por el crecimiento. Por lo tanto, los orígenes de mayor productividad por unidad de superficie son el 23 “SSE of Geeveston” y 5 “Jeeralang North” con 81.1 y 80.9 ton/ha, respectivamente. Estos materiales

**Cuadro 5.** Valores de densidad básica, consumo específico, producción de pulpa y tenor de sólidos por ton. de celulosa de los orígenes de *E.globulus*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
5	0.522 <sup>a</sup>	3.7 <sup>b</sup>	80.9	1.8 <sup>a</sup>
15	0.494 <sup>bc</sup>	3.9 <sup>b</sup>	51.6	1.7 <sup>a</sup>
16	0.468 <sup>c</sup>	4.0 <sup>a</sup>	47.3	1.7 <sup>a</sup>
18	0.487 <sup>bc</sup>	3.9 <sup>ab</sup>	59.6	1.7 <sup>a</sup>
19	0.498 <sup>ab</sup>	3.7 <sup>b</sup>	71.5	1.5 <sup>a</sup>
23	0.475 <sup>bc</sup>	3.8 <sup>ab</sup>	81.1	1.5 <sup>a</sup>
22	0.493 <sup>bc</sup>	3.8 <sup>ab</sup>	50.9	1.8 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 6.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E.globulus*.

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
5	50.4	2.7	28.8	90.0
15	50.4	2.6	35.0	90.0
16	50.4	2.8	34.4	89.6
18	50.4	2.7	31.1	90.1
19	50.4	2.8	33.0	89.7
23	50.4	2.7	30.9	90.1
22	50.4	2.8	32.5	89.9

muestran una producción de celulosa por há de casi el doble que el origen 16 “Moogara” que es el que presenta el menor valor para este parámetro (47.3 ton/cel). Este parámetro cobra especial importancia en el caso de que la producción de madera este integrada a la fase industrial ya que combina parámetros silviculturales y de procesamiento de la madera.

En relación al tenor de sólidos secos por tonelada de celulosa producida, si bien los valores obtenidos por todos los materiales son similares la tendencia es que los orígenes de mayor rendimiento en pulpa son los que presentan los menores valores de tenor de sólidos por ton. de celulosa. En este sentido los orígenes 19 “S of Geeveston” y 23 “SSE of Geeveston” son los de mejor comportamiento con valores de 1.5 (tss/ton.cel).

Los resultados del blanqueo de estos materiales son presentados en el cuadro 6. Del análisis de los datos se observa que todos los

materiales son muy similares en cuanto a su blanqueabilidad medida en términos de consumo de cloro y grado de blanco obtenido. Los valores de viscosidad obtenidos son altos en todos los casos lo cual indica que los carbohidratos que forman la pared de las fibras no fueron degradados en forma importante durante el proceso de pulpeo y el blanqueo. El menor valor observado en el origen 5 “Jeeralang North” probablemente este asociado a la mayor carga de reactivos usada durante el pulpeo.

En el cuadro7 se presentan los resultados de la capacidad de refinado y las propiedades mecánicas de las pulpas obtenidas con los orígenes de *E.globulus*. Los orígenes 5 “Jeeralang” y 19 “S of Geeveston” muestran los mayores requerimientos de energía de refinado (3000 y 3130 revoluciones, respectivamente) lo cual puede estar explicado por la alta densidad relativa de estos materiales. La mayor densidad de la madera en general esta determinada por fibras de paredes gruesas las

**Cuadro 7.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E.globulus*.

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refinado (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice deEstallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
5	3000	26	80.5	6.5	9.6
15	2400	26	83.5	7.1	9.5
16	1800	26	89.6	7.0	8.2
18	2250	25	80.0	6.7	10.1
19	3130	27	87.3	7.8	9.6
23	2950	27	85.6	7.5	9.7
22	2700	26	86.7	7.6	9.2

cuales son relativamente rígidas con una tendencia a formar uniones más débiles entre fibras. Por otro lado, este tipo de fibras al tener mayor peso, están en menor número en una hoja reduciendo las posibilidades de unión fibra a fibra (Repetti, 1990; Demuner et al. 1991, Dean, 1995). Por el contrario, maderas con fibras de paredes más delgadas y por lo tanto de menor densidad, como podría ser el caso de los orígenes 16 "Moogara" y 18 "Snug Tiers RD Sung", tienden a colapsar más fácilmente teniendo menores requerimientos de refino (1800 y 2250 rev., respectivamente).

En términos generales los valores de resistencias de las pulpas de cada uno de los orígenes no son limitantes para la mayoría de los diferentes tipos de papel que son sujetos a esfuerzos de tracción tanto durante su fabricación como su uso. Esto, en parte, es un indicador de que los carbohidratos presentes en la pared de las fibras no fueron degradados en forma importante durante el proceso de cocción y blanqueo lo cual fue puesto de manifiesto por los valores de viscosidad obtenidos.

La tendencia de los resultados muestra una relación negativa entre los valores de densidad de la madera y las resistencias a la tracción y al estallido. Estas propiedades dependen del grado de cohesión de las fibras que, como fue mencionado, es menor en fibras poco flexibles de paredes gruesas. En cambio, la resistencia al rasgado la cual depende directamente de la resistencia intrínseca de las fibras, tiene una relación positiva con la densidad de la madera.

#### • **Ensayo en Palmitas (Soriano) - E 50**

Los valores de crecimiento y de proporción de corteza al octavo año en este sitio son presentados en el cuadro 8. Del análisis de varianza se desprende que solo existen diferencias significativas entre orígenes para la variable proporción de corteza. A pesar de que los valores de crecimiento son estadísticamente similares entre materiales se observa que el 5 "Jeeralang North" y 12 "MS17 Road Cygnet CK" son los de mayor crecimiento con valores de IMA sin corteza de 26.1 y 24.2 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente. El origen con el menor valor de proporción de corteza es el 23 "SSE of Geeveston" con 14.1%. El resto de los materiales evaluados muestran valores que varían entre 16 a 18%.

El análisis de varianza de los resultados del pulpeo indica que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 9). Al igual que en el ensayo presentado anteriormente (E49) el origen 5 "Jeeralang North" es el que requiere la mayor cantidad de reactivos durante el pulpeo (17%) para un determinado grado de deslignificación. El resto de los materiales se comportan de manera muy similar con valores cercanos al 15% de álcali activo. Los mayores valores de rendimiento de pulpa son obtenidos con los orígenes 15 "NE New Norfolk" y 23 "SSE of Geeveston" con valores superiores al 53%. El valor más bajo corresponde al origen 5 "Jeeralang North" con 49.3%. Los valores de rechazo son bajos y muy similares entre sí. Analizando los valores de álcali activo y

**Cuadro 8.** Valores de crecimiento, proporción de corteza de los orígenes de *E. globulus*.

Código	Origen	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
5	Jeeralang North. VIC	195.6 <sup>a</sup>	26.1	18.0a
12	MS17 Road Cygnet CK TAS	181.5 <sup>a</sup>	24.2	16.3 <sup>a</sup>
15	NE New Norfolk TAS	146.7 <sup>a</sup>	19.6	17.5 <sup>a</sup>
16	Moogara TAS	152.9 <sup>a</sup>	20.4	17.8 <sup>a</sup>
23	SSE of Geeveston TAS	166.5 <sup>a</sup>	22.2	14.1b

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 9.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E.globulus*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
5	17.2 <sup>a</sup>	17.5	49.3c	0.0a
12	15.2b	17.8	51.3ab	0.1 <sup>a</sup>
15	15.2b	17.2	53.6 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>
16	15.7b	18.1	50.9bc	0.2 <sup>a</sup>
23	15.4b	17.6	53.4ab	0.4 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

rendimiento en pulpa nuevamente se observa una tendencia negativa bastante marcada entre estos dos factores.

A través del análisis de varianza de los resultados en este sitio se observa que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables densidad básica y tenor de sólidos por tonelada de celulosa pero no para el consumo específico (Cuadro 10).

Los materiales de mayor densidad son el 5 "Jeeralang North", 16 "Moogara" y 12 "MS17 Road Cygnet CK" con valores de 0.535, 0.532 y 0.525 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. En este caso no se observa una tendencia tan definida como en el ensayo 49 en cuanto a la relación entre la densidad básica y los requerimientos de álcali activo durante el pulpeo. Probablemente existan algunos parámetros de la composición química de las maderas que estarían explicando estas diferencias en los requerimientos de reactivos.

Los valores de consumo de madera son muy similares para los materiales evaluados a pesar de la existencia de diferencias en la densidad básica y en el rendimiento en pulpa. Eva-

luando estos dos parámetros junto al volumen se obtiene que los orígenes de mayor producción de celulosa son el 5 "Jeeralang North" y 12 "MS17 Road Cygnet CK" con valores muy similares, 51.3 y 49.1 ton/ha respectivamente. Estos valores claramente están asociados al mayor crecimiento relativo de estos dos materiales con relación al resto. En cuanto al tenor de sólidos generados por tonelada de celulosa producida se observa que los más eficientes desde este punto de vista son los orígenes 15 "NE New Norfolk" y 23 "SSE of Geeveston" con un valor de 1.7 tss/ton.cel. Estos resultados están estrechamente asociados a los valores de rendimiento en pulpa de modo que los orígenes de mayor rendimiento generan un menor tenor de sólidos por tonelada de celulosa producida.

Los resultados del blanqueo de los materiales evaluados muestran que en general todos los orígenes tienen buen comportamiento alcanzando altos niveles de blancura con similares valores de consumo de cloro asociados a altos valores de viscosidad (Cuadro 11). El menor valor de viscosidad del origen 5 "Jeeralang North" está asociado al mayor uso de álcali usado durante la cocción con este material.

**Cuadro 10.** Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E.globulus*.

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
5	0.535a	3.8a	51.3	2.1 <sup>a</sup>
12	0.525a	3.7a	49.1	1.8bc
15	0.499b	3.7a	39.2	1.7c
16	0.532a	3.7a	41.4	1.9 <sup>ab</sup>
23	0.498b	3.7a	44.3	1.7bc

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%



**Cuadro 11.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E.globulus*.

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
5	50.4	2.8	2.8	90.1
12	50.4	2.7	30.4	90.1
15	50.4	2.9	24.5	90.8
16	50.4	2.7	27.2	90.4
23	50.4	2.8	23.3	89.8

**Cuadro 12.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E.globulus*.

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
5	3130	25	77.1	6.3	9.1
12	3130	26	88.0	7.2	9.3
15	3130	27	81.8	6.7	9.1
16	3200	27	83.4	7.3	9.1
23	3100	23	77.0	6.1	9.6

En el cuadro 12 son presentados los valores de capacidad de refino y propiedades de resistencias obtenidas de los orígenes evaluados. En este caso si bien se observa cierta relación positiva entre los valores de densidad básica y los requerimientos de refino la tendencia no es tan clara como en el ensayo citado anteriormente. Los valores de energía de refino medida en términos de revoluciones son muy similares para todos los materiales evaluados y algo superiores a los obtenidos en el ensayo citado anteriormente probablemente determinados por un aumento en los valores de densidad de la madera. Los valores de resistencias mecánicas de las pulpas están próximos a lo reportados en la literatura para esta especie.

#### Análisis del efecto sitio - E 49 vs E 50

Del análisis de varianza surge que existen diferencias entre sitios para las variables requere-

rimientos de álcali, rendimiento en pulpa y densidad básica (Cuadro 13). En este caso se observa que en promedio los orígenes instalados en la zona 9 presentan un mayor requerimiento de álcali, menor rendimiento y mayor densidad básica que en la zona 2 (15.9 vs 13.6%, 51.8 vs 53.1% 0.517 vs 0.490 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente). Es importante aclarar que el efecto del sitio se manifiesta directamente sobre la densidad básica y eventualmente sobre la composición química de la madera. Esto, sin duda, indirectamente incide sobre los parámetros del pulpeo. Los valores de consumo son muy similares en los dos sitios. La diferencia en producción de pulpa en los dos sitios está determinada fundamentalmente por las diferencias en los valores de crecimientos asociados a cada sitio. Finalmente, el incremento determinado en la densidad de la madera de los orígenes instalados en la zona 9 estaría provocando un aumento en los requerimientos de refino y una ligera disminución

**Cuadro 13.** Resultados promedio del pulpeo y productividad de los orígenes comunes (4) instalados en Marmarajá (zona 2) y Palmitas (zona 9).

	A.A. (% p.s)	Rend. Dep. (%)	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo (m <sup>3</sup> /ton)	Prod. Pulpa (ton/há)
Zona 2	13.6b	53.1 <sup>a</sup>	0.490b	3.9 <sup>a</sup>	57.7
Zona 9	15.9 <sup>a</sup>	51.8b	0.517 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	44.1

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

en los valores de resistencia a la tracción y al estallido comparado con los valores registrados en la zona 2.

*Análisis de la interacción genotipo-ambiente*

El análisis realizado con los 4 orígenes comunes en los ensayos de Marmarajá y Palmitas muestra que existe un nivel de interacción significativo para las variables densidad básica y consumo específico de madera. Esto implica que en promedio, el conjunto de orígenes evaluados responde diferente, con relación a las

variables mencionadas, dependiendo del sitio que se este considerando (Figuras 7, 8, 9, 10 y 11).

Analizando el comportamiento de cada uno de los orígenes en los dos sitios puede afirmarse que en general el origen 15 “NE New Norfolk” es el que muestra los valores más estables para las variables densidad básica, rendimiento en pulpa y consumo específico. El resto de los materiales responden en forma variable dependiendo de la característica que se este considerando. En general se observa que en el ensayo de la zona 2 el origen 5 “Jeeralang North” es el de mayor densidad

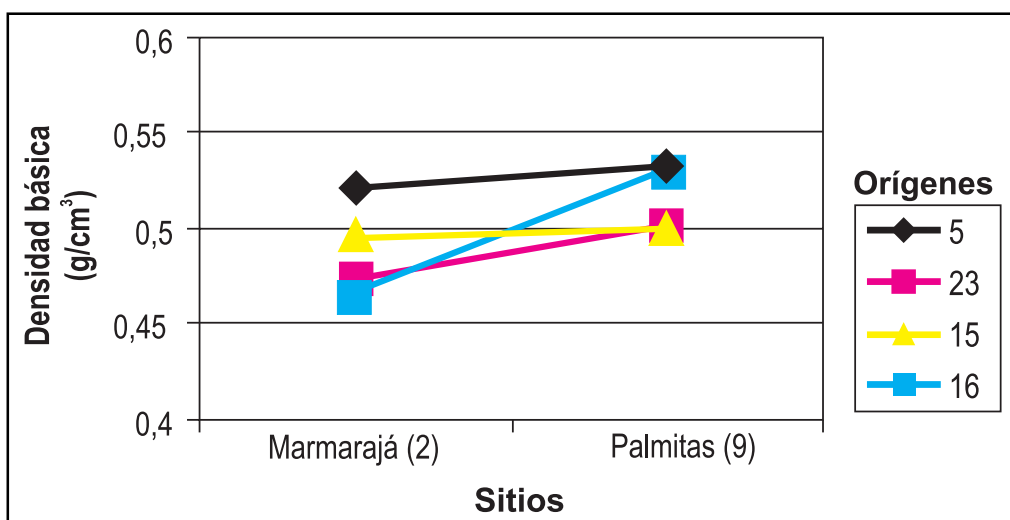


Figura 7. Densidad básica de los orígenes de *E. globulus* comunes en los dos sitios

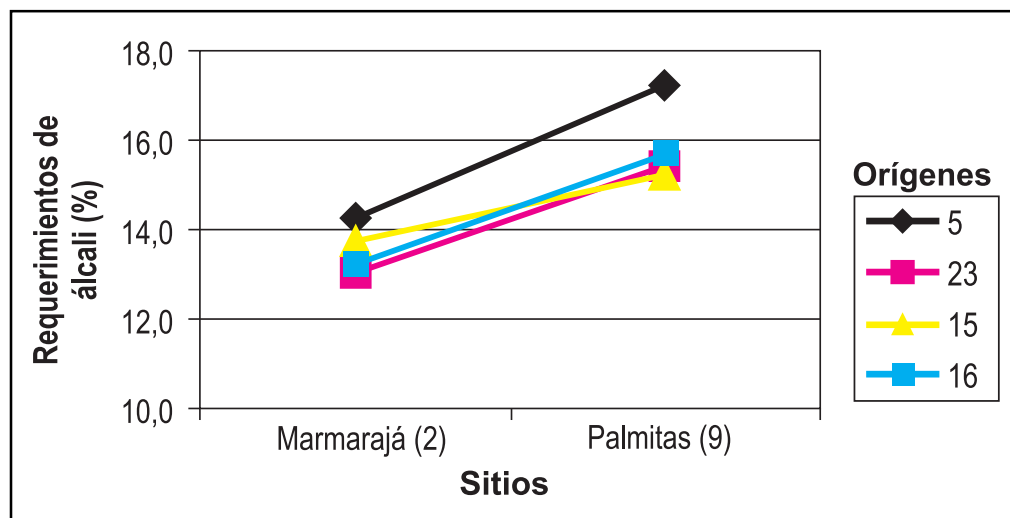


Figura 8. Requerimientos de álcali durante el pulpeo de los orígenes de *E. globulus* comunes en los dos sitios

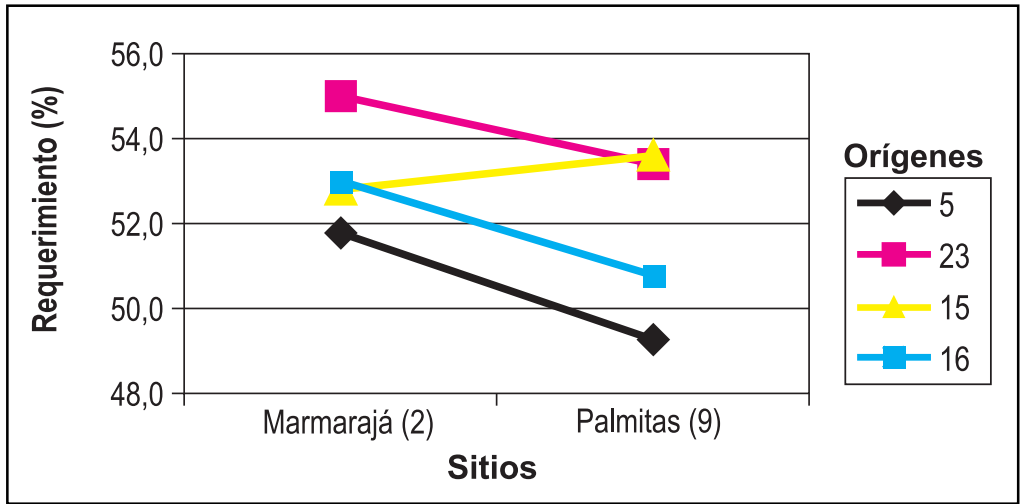


Figura 9. Rendimiento en pulpa de los orígenes comunes de *E.globulus* en los dos sitios

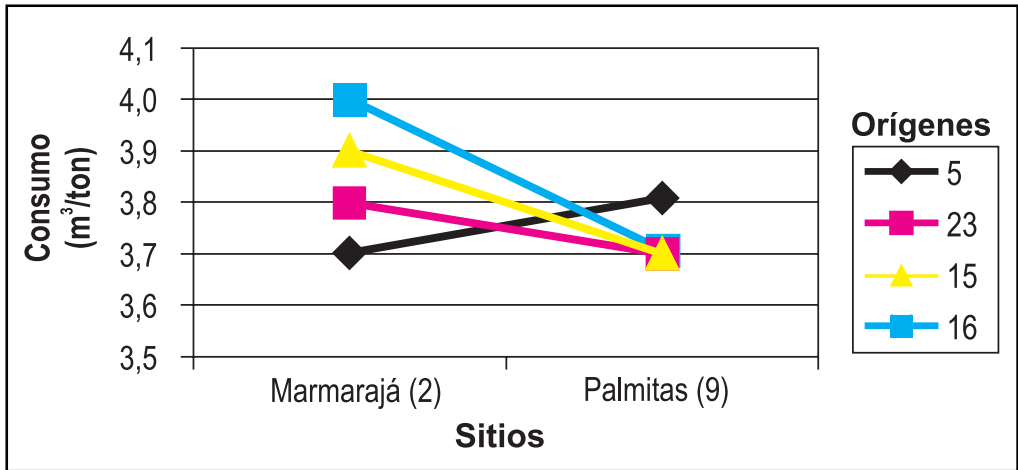


Figura 10. Consumo de madera de los orígenes de *E.globulus* comunes en los dos sitios

básica, menor consumo de madera y mayor producción de pulpa por há mientras que el origen 23 “SSE of Geeveston” es el de mayor rendimiento. En el ensayo de la zona 9 vemos que los orígenes 5 “Jeeralang North” y 16 “Moogara” son los que presentan la mayor densidad básica mientras que los orígenes 15 “Ne New Norfolk” y 23 “SSE of Geeveston” son los que obtienen los mayores rendimientos en pulpa. El origen “Jeeralang North” es el que muestra el mayor requerimiento de álcali y menor rendimiento en ambos sitios.

En términos de productividad medido como el consumo de madera o la producción de celulosa por há se observa que en general los orígenes instalados en la zona 9 tienen una

performance relativamente inferior y más homogénea que en la zona 2.

Si bien no fue realizado un análisis del efecto sitio ni de la interacción genotipo ambiente para los parámetros del blanqueo no se observan grandes diferencias entre orígenes comunes a los dos sitios sobre la blanqueabilidad de todos los orígenes evaluados (Figura 12). En promedio, los orígenes instalados en el ensayo de la zona 9 presentan un ligero incremento en el consumo de cloro por unidad de kappa con relación al ensayo de la zona 2 (2.9 vs 2.7 Kg/DKappa). De todos los orígenes evaluados, el 16 “Moogara” es el que muestra el menor efecto del sitio sobre esta variable.

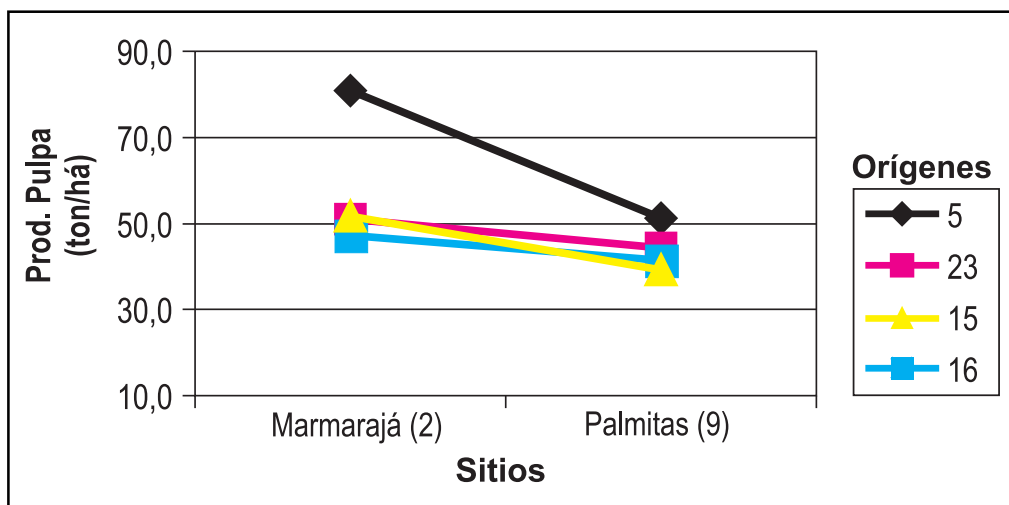


Figura 11. Producción de pulpa de los orígenes de *E.globulus* comunes en los dos sitios

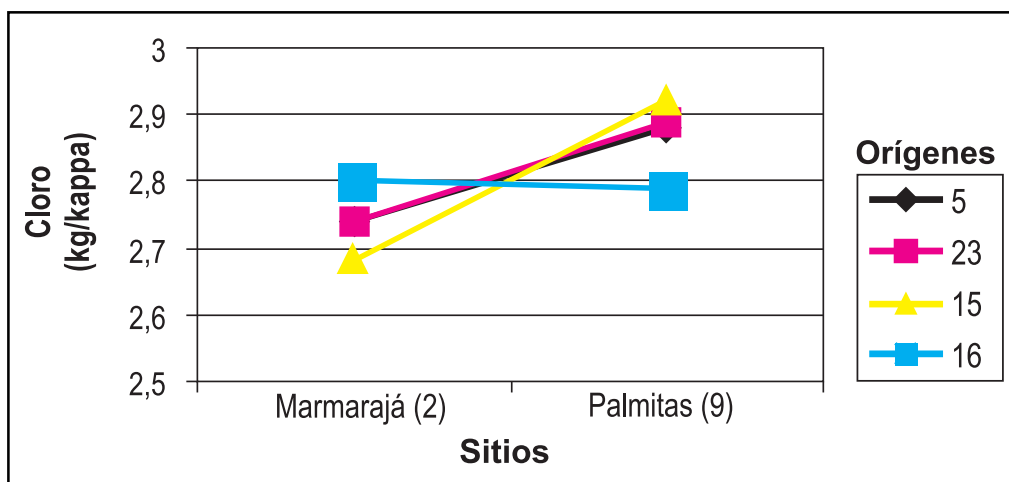


Figura 12. Requerimientos de cloro activo para obtener 90% de blancura con los orígenes de *E.globulus* comunes en los dos sitios

• **Ensayo en Paso de las piedras (Lavalleja) - E 37**

En los cuadros 14, 15, 16, 17 y 18 son presentados los parámetros silviculturales, los resultados del pulpeo y del blanqueo de los orígenes evaluados al noveno año.

El análisis de varianza detecta diferencias significativas para las variables volumen por hectárea y proporción de corteza entre los orígenes evaluados (Cuadro 14). Los valores de crecimiento sin corteza son relativamente altos para la mayoría de los materiales evaluados

destacándose los orígenes 1 “Jeeralangs Yarram” y 10 “N. Cape Barren Island” con un IMA sin corteza de 38 y 28 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. A excepción del material proveniente del área de colecta local (Diano) que muestra el crecimiento más bajo, el resto de los materiales evaluados alcanzan valores de IMA entre 21 y 25 m<sup>3</sup>/ha/año. Los orígenes con mayores valores de proporción de corteza son el 1 “Jeeralangs Yarram” y 12 “Pepper Hill Road” con casi 19%. El resto de los materiales presenta valores muy similares entre si variando de 13 a 17%.

**Cuadro 14.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E.globulus*

Código	Origen	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
1	Jeeralangs-Yarram. VIC	342.4a	38.0	18.7ab
7	Flinders Island. TAS	227.2b	25.2	15.5c
10	N Cape Barren Island. TAS	254.5ab	28.3	17.2bc
12	Pepper Hill Road. TAS	192.2b	21.4	18.9a
16	Moogara. TAS	183.2b	20.4	17.0c
17	Lonnavule. TAS	229.3b	25.5	15.6cd
20	Blue Gum Saddle. TAS	210.7b	23.4	12.9e
21	Geeveston Area. TAS	227.2b	25.2	14.5de
Diano	Area colecta semilla	163.7b	18.2	16.4c

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 15.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E.globulus*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
1	16.2 <sup>a</sup>	17.6	50.2c	0.05 <sup>a</sup>
7	13.0c	17.6	54.4 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>
10	13.8bc	17.6	51.5bc	0.10 <sup>a</sup>
12	13.2bc	17.2	52.2 <sup>ab</sup>	0.01 <sup>a</sup>
16	13.3c	17.3	53.7 <sup>ab</sup>	0.05 <sup>a</sup>
17	13.7bc	17.2	52.3bc	0.21 <sup>a</sup>
20	12.8c	17.5	52.7 <sup>ab</sup>	0.12 <sup>a</sup>
21	13.1c	18.2	53.8 <sup>ab</sup>	0.09 <sup>a</sup>
Diano	13.8b	17.7	49.8c	0.05 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

Mediante el análisis de varianza se observa que existen diferencias significativas entre orígenes para el requerimiento de álcali activo y rendimiento en pulpa pero no para el rechazo (Cuadro 15).

Los resultados del pulpeo muestran la existencia de una relación negativa entre los requerimientos de álcali activo y el rendimiento en pulpa. En cuanto al comportamiento de los diferentes orígenes se observa que el 5 "Jeeralangs Yarram" comparativamente es el que requiere condiciones de cocimiento más drásticas (16%) para obtener un determinado grado de deslignificación. A excepción de este origen el resto de los materiales evaluados muestra valores muy similares de requerimientos de álcali entre sí oscilando en torno al 13%.

Con relación al rendimiento en pulpa se observa los valores más altos fueron obtenidos con los orígenes 7 "Flinders Island", 16 "Moogara" y 21 "Geeveston Area" con 54.4, 53.7 y 53.8% respectivamente. Los valores más bajos fueron obtenidos con el material proveniente del área local de colecta y el 5 "Jeeralangs Yarram" con valores próximos al 50%. Los valores de rechazo fueron bajos y muy similares en todos los casos explicados por la clasificación de los chips y por la conducción de los ensayos de pulpeo.

A través del análisis de varianza para las variables densidad básica, consumo específico y tenor de sólidos secos por tonelada de celulosa producida se observa que existen diferencias significativas entre orígenes para el

**Cuadro 16.** Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E.globulus*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
1	0.528a	3.8 <sup>a</sup>	90.8	1.9ab
7	0.509 <sup>ab</sup>	3.6 <sup>a</sup>	62.9	1.5d
10	0.502 <sup>ab</sup>	3.9 <sup>a</sup>	65.8	1.8abc
12	0.514a	3.7a	51.6	1.7cd
16	0.500b	3.7a	49.2	1.7cd
17	0.520a	3.7a	62.4	1.7bcd
20	0.509 <sup>ab</sup>	3.7a	56.5	1.6cd
21	0.516a	3.6a	63.1	1.6cd
Diano	0.506ab	4.0a	41.2	2.0a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

primero y el último de los parámetros mencionados (Cuadro 16). El origen 1 “Jeeralangs Yarram” es el que presenta el valor más alto de densidad mientras que el resto de los materiales mostraron valores similares.

Esta característica del origen 1 estaría explicando (al menos en parte) el mayor requerimiento de reactivos durante el proceso de pulpeo.

Considerando en forma conjunta la densidad de la madera y el rendimiento de pulpa a través del consumo de madera se observa que todos los materiales evaluados se comportan de forma similar. El material proveniente del área local de colecta de semilla es el que presenta el valor más alto (4 m<sup>3</sup>/ton. cel.) determinado básicamente por el bajo rendimiento en pulpa. Analizando los datos de todos los orígenes se observa que la menor densidad es compensada por un mayor rendimiento de modo que el resultado combinado de ambos factores se traduce en valores de consumo de madera similares entre materiales.

No obstante esto, analizando la producción de pulpa por há, se destaca el origen 1 “Jeeralangs Yarram” con un valor muy superior al resto de los materiales explicado por el mayor crecimiento por unidad de superficie.

Evaluando el efecto conjunto de los valores de densidad básica, el rendimiento en pulpa y el consumo específico de madera para estimar la cantidad de sólidos generados por cada tonelada de pasta producida vemos que exis-

ten importantes diferencias entre los materiales evaluados. Este parámetro que es un indicador de la eficiencia de la producción de celulosa muestra que los orígenes 7 “Flinders Island”, 20 “Blue Gum Saddle” y 21 “Geeveston Area” son los que presentan los menores valores con 1.5 y 1.6 (tss/tcel), respectivamente. Los orígenes de peor comportamiento para esta variable son el 1 “Jeeralangs Yarram” y el área de colecta local “Diano” con 1.9 y 2 (tss/t.cel.), respectivamente.

Los resultados del blanqueo son presentados en el cuadro 17. Los valores obtenidos muestran que todos los orígenes tienen buena respuesta frente a la secuencia de blanqueo aplicada obteniéndose en general altos valores de blancura asociados a altos valores de viscosidad. Los orígenes 7 “Flinders Island” y 12 “Pepper Hill Road” alcanzan valores de blanco algo inferiores al resto de los orígenes. A su vez, las cantidades de cloro requeridas tanto por tonelada de pulpa como por unidad de reducción del kappa son bajas y similares en todos los casos. Analizando los datos de viscosidad y requerimientos de álcali activo se observa que existe una relación negativa bastante marcada. En ese caso se observa que el origen 1 “Jeeralangs Yarram” es el que muestra el menor valor de viscosidad asociado a la mayor cantidad de reactivos usada en el pulpeo. A pesar de esto, como se discute en párrafos siguientes los valores de viscosidad determinados no fueron limitantes en cuanto a las resistencias de las pulpas obtenidas.

**Cuadro 17.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E.globulus*.

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
1	50.4	2.82	19.3	89.0
7	50.4	2.83	33.2	88.7
10	50.4	2.82	25.1	90.4
12	50.4	2.69	29.1	88.5
16	50.4	2.86	30.6	90.0
17	50.4	2.88	29.7	89.3
20	50.4	2.80	32.2	90.0
21	50.4	2.76	32.0	89.7
Diano	50.4	2.80	27.7	89.4

**Cuadro 18.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E.globulus*.

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
1	2200	23	74.5	5.5	9.7
7	2200	23	80.2	6.0	9.5
10	2200	25	81.4	6.0	9.1
12	2200	24	84.6	6.6	9.7
16	2200	24	82.7	6.8	9.5
17	2200	25	86.5	6.5	9.5
20	2200	23	84.8	6.5	10.2
21	2200	24	85.3	7.0	10.1
Diano	2200	24	81.8	6.8	9.2

En el cuadro 18 son presentados los valores de propiedades mecánicas de las pulpas de los orígenes evaluados. Los resultados obtenidos indican que todos los materiales evaluados tienen la misma respuesta en cuanto a la facilidad de refino medida como número de revoluciones. Esto tiene estrecha relación con la similitud observada en los valores de la densidad de la madera la cual, como fue mencionado en párrafos anteriores, incide sobre la flexibilidad y capacidad de entrelazado de las fibras. Nuevamente, la tendencia de los datos es a una disminución de los valores en los índices de tracción/estallido y un aumento del rasgado a medida que se incrementa la densidad de la madera.

• **Ensayo en Tres Bocas (Río Negro) - E 2**

En el cuadro 19 son presentados los datos de crecimiento y proporción de corteza al

decimotercer año de los orígenes instalados en este sitio. El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre orígenes para las variables volumen acumulado por hectárea y proporción de corteza.

En este caso se destaca el origen 5 "Jeeralang North" con un IMA sin corteza de 23 m<sup>3</sup>/ha/año. Este origen alcanza un crecimiento muy superior al resto debido por un lado a que en general presenta una mayor velocidad de crecimiento y por otro a que muestra una menor incidencia de problemas sanitarios comparado con los otros materiales evaluados (Balmelli et al., 2004). El ataque de agentes patógenos ha provocado la muerte de árboles, reduciendo la sobrevivencia y por lo tanto afectando la producción de madera por há. Esto explica los bajos valores de IMA comparado con los alcanzados por algunos de estos materiales en ensayos instalados más recientemente en zonas de mayor adaptabilidad para esta especie.

**Cuadro 19.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E.globulus*

Código	Origen		Volumen (m³/ha)	IMA (m³/ha/a)	Corteza (%)
5	Jeeralang North.	VIC	305 a	23	19.8 <sup>a</sup>
6	12.1 k S Lorne PO.	VIC	217 b	17	17.9ab
10	N Cape Barren Island.	TAS	141 b	11	16.0b
13	Little Henty River.	TAS	203 b	16	12.7c
Dr. W	Pulp and Paper Company	TAS	179 b	14	10.8c

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

Por otro lado el origen 5 “Jeeralang North” también es el que presenta el mayor valor de proporción de corteza con casi 20%. El origen “Dr.W” se destaca por presentar el valor más bajo con casi 11%.

Del análisis de los resultados el pulpeo se observa que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali y rendimiento en pulpa (Cuadro 20).

Nuevamente se observa que el origen 5 “Jeeralang North” es el que tiene el mayor requerimiento de álcali durante la cocción. El origen 6 “12.1 k S Lorne PO” presenta un valor intermedio (17%) mientras que el resto de materiales muestran valores muy similares próximos a 16%. También el origen 5 “Jeeralang North” es el que tiene el menor rendimiento en pulpa (49.1%). Los valores de requerimientos de álcali y rendimiento muestran una estrecha relación negativa, al igual que con los ensayos anteriores. En general se observa que en este sitio los requerimientos de álcali son mayores y los rendimientos son menores que en los ensayos anteriores. De acuerdo a algunos resultados obtenidos con especies de Eucalyptus, este efecto probable-

mente pueda ser atribuido al incremento que se observa en la densidad de la madera a medida que se incrementa la edad de los árboles. Eventualmente también puede existir un aumento en el contenido de extractivos, lignina y la proporción de duramen con relación la madera formada en etapas más tempranas del cultivo. Los valores de rechazo son iguales para todos los materiales.

En el cuadro 21 son presentados los datos de densidad básica, consumo específico de madera, producción de pulpa por há. y tenor de sólidos generados por tonelada de celulosa producida. El análisis estadístico de los datos muestra que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables densidad básica y tenor de sólidos pero no para el consumo de madera. El origen de mayor densidad básica es el 5 “Jeeralang North” con un valor de 0.603 g/cm<sup>3</sup>, seguido por el origen 6 “12.1 k S Lorne PO” con 0.569 g/cm<sup>3</sup>. El resto de los materiales presentan valores muy similares entre si. Considerando los resultados de todos los orígenes se observa una marcada relación positiva entre la densidad básica y los requerimientos de álcali durante la cocción.

**Cuadro 20.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E.globulus*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
5	18.0a	18.4	49.1c	0.0 a
6	17.0b	18.3	50.4b	0.0 a
10	15.7c	17.8	51.4ab	0.0 a
13	15.7c	17.8	51.8 <sup>a</sup>	0.0 a
Dr. W	15.9c	17.4	51.2ab	0.0 a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%



**Cuadro 21.** Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. globulus*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
5	0.603 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	90.4	2.1 <sup>a</sup>
6	0.569 <sup>b</sup>	3.5 <sup>a</sup>	64.8	1.9 <sup>b</sup>
10	0.541 <sup>c</sup>	3.6 <sup>a</sup>	39.2	1.8 <sup>bc</sup>
13	0.533 <sup>c</sup>	3.6 <sup>a</sup>	56.6	1.8 <sup>c</sup>
Dr. W	0.551 <sup>bc</sup>	3.5 <sup>a</sup>	51.5	1.9 <sup>bc</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

En promedio, los orígenes instalados en este sitio muestran mayores valores de densidad básica que en los tres sitios anteriores. En este caso los resultados obtenidos indican que los materiales de mayor densidad tienden a tener menor rendimiento en pulpa. En definitiva, esto provoca que los consumos de madera sean similares entre los materiales con valores que oscilan de 3.4 a 3.6 m<sup>3</sup>/ton.cel. En general estos valores son inferiores a los obtenidos en los tres ensayos citados anteriormente probablemente asociados a los mayores valores de densidad de la madera de los orígenes evaluados. El incremento en la densidad básica de los materiales instalados en este sitio probablemente sea el resultado de una mayor proporción de madera adulta que en los materiales de menor edad.

Los valores de producción de pulpa reflejan las diferencias observadas en el crecimiento de los diferentes materiales. El origen 5 "Jeeralang North" es el de mayor producción de pulpa con un valor de 90.4 ton/ha. debido al mejor comportamiento sanitario con relación al resto de los materiales en evaluación. En relación al tenor de sólidos por tonelada de celulosa producida se observa que el origen 5 "Jeeralang North" es el que presenta el mayor

valor (2.1 tss/ton.cel.) asociado en gran medida al menor rendimiento en pulpa. El resto de los materiales tienen valores similares variando de 1.8 a 1.9 tss/ton.cel.

De los resultados del blanqueo puede afirmarse que todos los materiales tienen un comportamiento muy similar entre sí. Comparado con las evaluaciones realizadas en los ensayos citados anteriormente se observa que con estas cantidades de cloro aplicadas los valores de blancura fueron inferiores variando de 87 a 89% (Cuadro 22). El origen 6 "12.1 k S Lorne PO" presenta un valor ligeramente inferior al resto (87.2%). Esta menor blanqueabilidad relativa podría estar asociada a una menor reactividad de la lignina residual de las pulpas obtenidas comparada con la de los ensayos de menor edad. De todas maneras los valores de blancura obtenidos están muy próximos a los niveles buscados en esta evaluación (90%). Los valores de viscosidad son altos en todos los casos.

Los resultados de las propiedades de resistencias y la capacidad de refinado de las pulpas obtenidas son presentados en el cuadro 23. Si bien todos los materiales evaluados, presentan una similar capacidad de refinado

**Cuadro 22.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. globulus*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
5	50.4	2.7	22.0	89.0
6	50.4	2.7	26.5	87.2
10	50.4	2.8	26.4	88.0
13	50.4	2.8	30.0	88.1
Dr. W	50.4	2.9	29.1	88.3

**Cuadro 23.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E.globulus*.

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
5	2800	24	76.9	5.8	10.5
6	2200	24	72.9	5.8	9.4
10	2200	26	81.6	6.2	10.0
13	2300	27	83.0	6.4	8.8
Dr. W	2100	25	68.6	6.4	9.3

expresada en términos del número de revoluciones para alcanzar un determinado grado °SR, el origen 16319 “Jeeralang” muestra un mayor requerimiento de energía para la formación de la pasta probablemente asociado a la mayor densidad básica. Con estos materiales también se observa una relación negativa entre la densidad y la resistencia a la tracción/estallido y una relación positiva con la resistencia al rasgado.

• **Ensayo en (Rivera) - E 3**

En el cuadro 24 son presentados los datos de crecimiento y proporción de corteza al decimocuarto año de los orígenes instalados en este sitio. El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre orígenes para las variables volumen por hectárea y proporción de corteza. El origen de mayor crecimiento es el 5 “Jeeralang North” con un IMA estimado sin corteza de 19.5 m<sup>3</sup>/ha/año presentando al mismo tiempo el mayor valor de proporción

de corteza (20.4%). En este caso la superioridad de este material es del orden del 56% con relación al segundo mejor origen desde el punto de vista del crecimiento (“Dr Wayne”). Las diferencias de crecimiento, al igual que en el ensayo anterior, en parte están explicadas por la diferente susceptibilidad frente a ataques de patógenos que muestran cada uno de los orígenes evaluados. El origen “Jeeralang” es el tiene el mayor valor de porcentaje de corteza con algo más de 20%.

En el cuadro 25 se presentan los resultados del pulpeo de los orígenes evaluados. El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas solo para la variable rendimiento depurado. El origen “Dr Wayne” es el que presenta el mayor rendimiento a la vez de bajo requerimiento de carga durante el pulpeo y bajo porcentaje de corteza (52.7%, 15.6% y 14%, respectivamente). Esto podría ser el resultado de la posible existencia de un programa de mejora genética a favor de las propiedades pulperas de la madera. El resto de los

**Cuadro 24.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E.globulus*

Código	Origen		Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
Dr. W	Pulp and Paper Company	TAS	174 ab	12.5	14.0 c
4	Police Point	TAS	162 b	11.6	16.6 bc
5	Jeeralang North.	VIC	273 a	19.5	20.4 a
6	Moogara	TAS	118 b	8.5	17.4 ab

**Cuadro 25.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E.globulus*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
Dr. W	15.6 a	17.4	52.7 a	0.4 a
4	16.9 a	17.8	51.0 b	0.2 a
5	17.6 a	18.1	49.7 b	0.0 a
6	17.7 a	18.4	49.7 b	0.2 a

materiales evaluados presentan características similares en cuanto al rendimiento y a los requerimientos de reactivos. Los valores de rechazo fueron prácticamente cero en todos los casos.

Estos resultados permiten verificar la existencia de una estrecha relación negativa entre el rendimiento en pulpa y la carga de reactivos usada durante el pulpeo. En general se observa que en este sitio los requerimientos de álcali son mayores y los rendimientos son menores a los determinados en los ensayos con orígenes de esta especie citados anteriormente. Esta diferencia probablemente pueda ser atribuida al incremento que se observa en la densidad de la madera a medida que se incrementa la edad de los árboles. Hay que tener en cuenta que 13 o 14 años son edades relativamente avanzadas con relación a las edades frecuentes de turno final que rondan los 8 a 10 años. El incremento en la densidad básica de los materiales instalados en este sitio probablemente sea el resultado de una mayor proporción de madera adulta que en los materiales de menor edad. Eventualmente también puede existir un aumento en el contenido de extractivos, lignina y la proporción de duramen con relación la madera formada en etapas más tempranas del cultivo

Los resultados del análisis de varianza presentados en el cuadro 26 indica que existen diferencias significativas para la variable consumo específico. Estas diferencias en los valores de consumo de madera están asociados básicamente a las diferencias determinadas en el rendimiento en celulosa ya que los valores de densidad básica son similares para todos los materiales evaluados. Los valores más bajos de consumo de madera corresponden a los orígenes "Dr. Wayne", 4 "Police Point" y 5 "Jeeralang" con 3.3 y 3.4 m<sup>3</sup>/ton.cel respectivamente. Considerando los valores de crecimiento junto con los de densidad de la madera y el rendimiento obtenemos que el origen de "Jeeralang" supera en casi un 42% al origen que le sigue en cuanto a la productividad de celulosa por hectárea. Estas diferencias se explican en su mayor parte por los altos valores de volumen por hectárea que alcanza este material comparado con el resto de los genotipos

En el cuadro 27 son presentados los resultados del refinado y las propiedades mecánicas de las pulpas de los orígenes evaluados. Al igual que en los ensayos antes citados el origen Jeeralang tiene requerimientos de refinado algo superiores al resto de los materiales asociado a la mayor densidad de la madera lo cual

**Cuadro 26.** Valores de densidad básica, consumo específico, producción de pulpa y tenor de sólidos de los orígenes de *E. globulus*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
Dr. W	0.576 a	3.3 b	53.3	1.7 b
4	0.588 a	3.3 ab	51.8	1.9 a
5	0.595 a	3.4 ab	82.6	2.0 a
6	0.562 a	3.6 a	33.6	2.0 a

**Cuadro 27.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E. globulus*<sup>2</sup>.

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
Dr. W	2200	25	79.7	6.0	10.0
4	2350	25	71.4	5.6	10.1
5	2400	24	79.5	5.4	11.0
6	2200	26	93.2	6.7	9.9

<sup>2</sup> En este caso se aplicó solo la etapa O (oxígeno) de la secuencia de blanqueo mencionada.

es un indicador del mayor espesor de la pared de las fibras. Los índices de resistencia son muy similares entre orígenes observándose una relación negativa entre la densidad y los índices de tracción y estallido. Al mismo tiempo los valores de densidad e índices de desgarramiento muestran una relación inversa por las razones que han sido mencionadas en párrafos anteriores.

En términos generales, considerando los resultados obtenidos en los cinco sitios puede concluirse que los mismos son similares a los obtenidos en estudios realizados anteriormente en el sentido de que el origen de la región de "Jeeralang" es el que presenta el mayor valor de densidad básica, altos requerimientos de álcali activo y bajo rendimiento en pulpa (Resquin, 2002, Melo, R., com. pers.).

Desde el punto de vista de la blanqueabilidad se observa que los requerimientos de reactivos medidos como Kg de cloro activo por ton. de celulosa con esta secuencia de blanqueo son muy similares para todos los materiales. Esto puede deberse a que la composición química de las maderas sean semejantes en todos los casos y/o que las condiciones de cocción usadas (variando la concentración del álcali activo) produjeron pulpas con una lignina residual (Índice Kappa) de similares características desde el punto de vista de su facilidad de remoción durante el blanqueo. Sin embargo, si consideramos los requerimientos de cloro activo por unidad que se baja el índice kappa vemos que las cantidades de cloro necesarias para obtener niveles de blancura próximo a 90% presentan variaciones para todos los orígenes. Considerando todos los orígenes se observa que los valores de requerimientos de cloro varían de 2.68 a 2.93 kg/DKappa. Estas diferencias están asociadas a las variaciones obtenidas en los contenidos de lignina residual que tenían las pulpas antes de la secuencia de blanqueo (IK) a pesar de que se obtuvieron pulpas con un rango de  $18 \pm 1$  de este parámetro. Los valores de la cantidad de cloro necesario para obtener esos niveles de blancura son compatibles con resultados obtenidos en estudios anteriores con esta especie (Melo, R., com. pers.; Neto, et. al. 2002).

En cuanto a las propiedades mecánicas de las pastas se observa que todos los materiales

evaluados tienen valores similares entre sí y dentro de lo reportado en la literatura para esta especie (Barrichelo, L.; Foelkel, C., 1976; Valente, 1992, Van Wyk, W.; Gerischer, G., 1994; Melo, R. com pers; Doldán, J. com pers). Los resultados de viscosidad obtenidos indican que no ocurrió una degradación importante de los materiales que componen la pared de las fibras durante el pulpeo. En general el origen "Jeeralang" se destaca por requerir mayores niveles de energía para alcanzar un determinado grado de refinado comparado con el resto de los materiales evaluados explicado por su relativa alta densidad básica.

#### *Materiales comerciales*

En el cuadro 28 se presentan los resultados de los análisis del pulpeo, blanqueo y propiedades del papel de los tres materiales comerciales evaluados. Si bien los resultados no son comparables entre sí por provenir de situaciones diferentes se observa que el origen Jeeralang tiene un valor de densidad relativamente alto, bajo rendimiento y alto requerimiento de álcali (0.544 g/cm<sup>3</sup>, 51.2% y 16.3%), tendencia también mostrada en los ensayos instalados en la región Sureste (Ensayos 37 y 49). El material procedente del área local de colecta de semilla (Diano) muestra un relativo bajo valor de densidad y rendimiento, hecho constatado en el ensayo 37 (0.502 g/cm<sup>3</sup> y 52.4%). La fuente de semilla proveniente de Chile muestra resultados interesantes en cuanto al relativo bajo consumo de madera debido al alto rendimiento en pulpa (3.4 m<sup>3</sup>/ton.cel. y 55.1%). En este último material fue medida su respuesta frente al blanqueo obteniéndose un grado de blanco sensiblemente inferior a los obtenidos en los ensayos citados anteriormente. Esto es debido a que la secuencia de blanqueo utilizada (EpD<sub>1</sub>PD<sub>2</sub>) en este caso no incluyó la etapa O (oxígeno), el cual es citado en la literatura como un potente agente removedor de la lignina residual en la pulpa.

Los valores de densidad, inciden sobre los niveles de refinado de modo que los materiales más densos como el Jeeralang y el Chileno requieren de mayor número de revoluciones para obtener similares valores de °SR en relación al material de menor densidad (2600 y 2500

**Cuadro 28.** Resultados del pulpeo, blanqueo y propiedades del papel de los materiales evaluados

PARAMETROS	<i>E.globulus</i> I (Chile)*	<i>E.globulus</i> II (Diano)**	<i>E.globulus</i> III (Jeeralang)**
Db (g/cm <sup>3</sup> )	0.517	0.502	0.544
A.A.(% p.s.)	13.8	15.2	16.3
Índice Kappa	18.2	18.1	19.0
Rend. Dep. (%)	55.1	52.4	51.2
Consumo (m <sup>3</sup> /ton.cel)	3.4	3.8	3.6
ClO <sub>2</sub> (Kg/ton Pulpa seca)	50.4	-	-
ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad Kappa)	2.8	-	-
Viscosidad (cP)	34.2	37.7	30.3
Grado de blanco (% ISO)	84.8	-	-
Numero de Revoluciones	2500	2200	2600
Grado de Refino (°SR)	30	27	26
Índice de tracción (N.m/g)	90.9	85.8	82.2
Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	6.9	6.6	6.8
Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)	9.1	9.2	10.3

\* Pulpa blanqueada con la secuencia EpD<sub>1</sub>PD<sub>2</sub>. Fuente: Ferrer,L. com. pers.

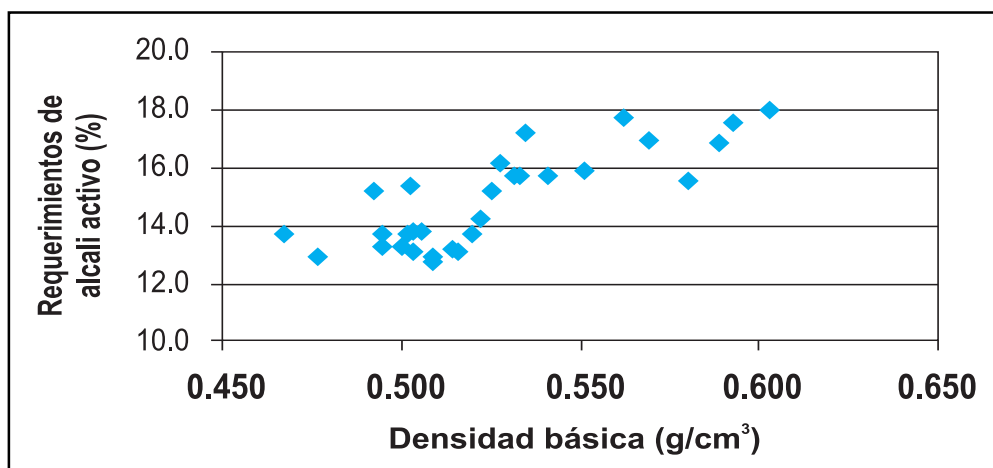
\*\* Pulpa blanqueada solo con Oxígeno

vs 2200). Los valores de las propiedades mecánicas de las pulpas son semejantes a los obtenidos en los ensayos de orígenes citados anteriormente. En términos generales, los valores obtenidos por los materiales Jeeralang y del área de colecta local (Diano) tanto en los lotes comerciales como en los ensayos de orígenes son bastante similares entre si. Esto confirma la representatividad de los resultados obtenidos en ensayos para predecir las características pulperas de un material genético plantado a escala comercial.

#### a.2) Relaciones entre la densidad de la madera y los parámetros del pulpeo

Analizando en forma conjunta los resultados obtenidos con los orígenes en los cinco sitios se observa que (para las condiciones de estos ensayos) en general existe:

- Una relación positiva entre la densidad de la madera y los requerimientos de álcali (Figura 13). Esta tendencia parece más marcada a partir de valores de densidad básica superiores a 0.500 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 13.** Relación entre los valores de densidad básica y requerimientos de álcali para todos los orígenes de *E.globulus* evaluados.

Esta respuesta podría explicarse por la mayor dificultad de penetración del licor de cocimiento en maderas con paredes de fibras de mayor espesor y por lo tanto mayor densidad. Se debe tener en cuenta que la entrada del licor ocurre primero, en forma relativamente rápida, por los poros de la madera por un proceso de penetración y luego en forma mucho más lenta, atravesando la pared de las fibras mediante un proceso de difusión. Además de la "accesibilidad" del licor de cocimiento determinada por los elementos celulares, los requerimientos de álcali pueden estar relacionados a la naturaleza química de la madera.

- Una relación negativa entre la densidad y el rendimiento, fundamentalmente por encima de valores próximos a 0.510 g/cm<sup>3</sup> (Figura 14). El hecho de utilizar maderas más densas, como fue mencionado, implica tener que aplicar mayores cargas de reactivos durante la cocción para obtener un determinado grado de deslignificación. Los reactivos usados, además de actuar sobre la remoción de algunos compuestos como por ejemplo la lignina de la laminilla media y la pared de las fibras, reacciona con los carbohidratos (celulosa y hemicelulosas) provocando una degradación de los mismos. Esta degradación es más intensa cuanto más drásticas son las

condiciones de la cocción determinada por el efecto de la temperatura y tiempo de cocción y por la concentración de soda del licor de cocimiento.

- Una relación negativa entre la densidad y el consumo de madera (Figura 15). Si bien se observa que ocurre cierta compensación entre los valores de densidad y rendimiento en el sentido que maderas más densas tienen menor rendimiento, puede concluirse que el aumento de la densidad es más que proporcional en relación a la disminución del rendimiento. Desde este punto de vista el menor consumo de madera es obtenido con los valores más altos de densidad básica.

Si bien se reconoce por varios autores que la densidad básica es una característica que puede ser usada como un indicador del comportamiento de la madera durante su procesamiento, también se han sugerido otros factores tales como: el tenor de pentosanos, la relación de los tipos de ligninas (guaiacyl/siringyl), el tenor de extractivos y la permeabilidad de la madera, los cuales pueden ser usados como criterios importantes de calidad en la industria de celulosa (Foelkel, Mora y Menochelli, 1992; Pereira, et.al. 1994).

En función del material genético, el efecto del sitio, la interacción de ambos y la edad de los árboles se observa que la densidad varió de

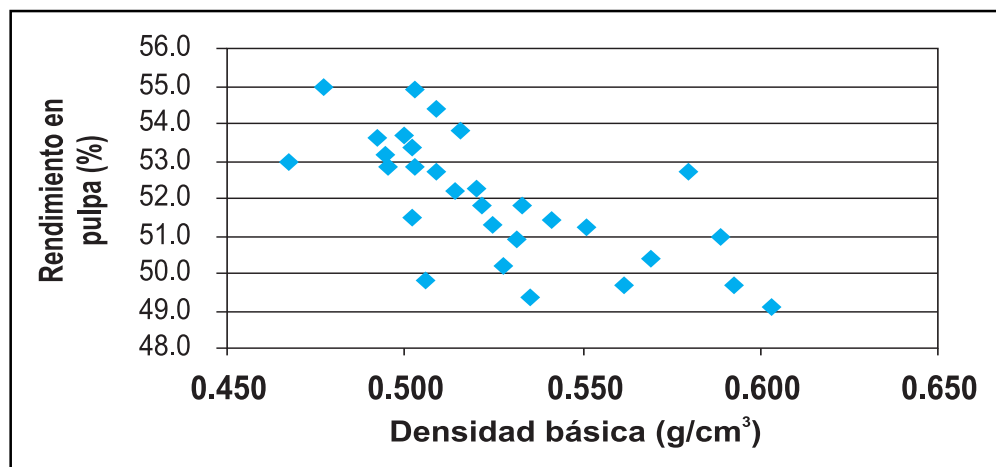


Figura 14. Relación entre los valores de densidad básica y rendimiento en pulpa para todos los orígenes de *E. globulus* evaluados.

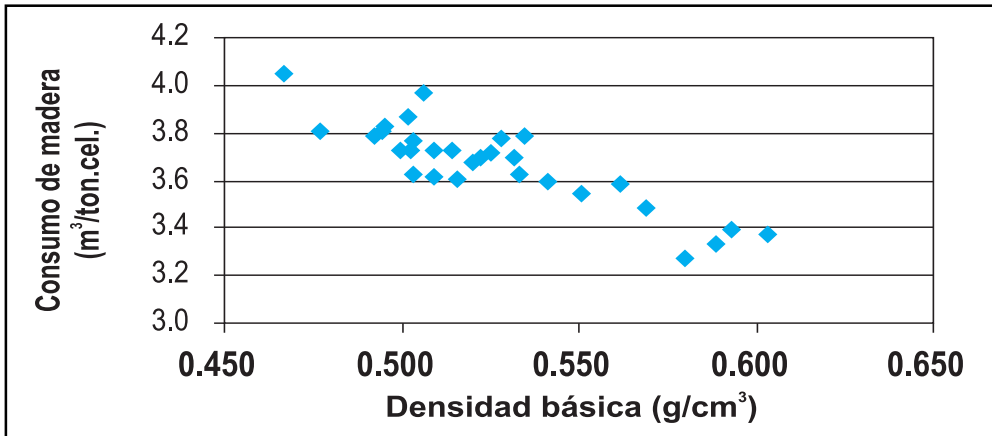


Figura 15. Relación entre los valores de densidad básica y consumo de madera para todos los orígenes de *E.globulus* evaluados.

0.470 a 0.603 g/cm<sup>3</sup>, los requerimientos de álcali de 13 a 18%, el rendimiento de 49 a 55% y el consumo de madera de 3.3 a 4 m<sup>3</sup>/ton.cel.

**a.3) Efecto de la carga de álcali activo sobre el pulpeo y blanqueo**

Teniendo en cuenta que la única variable de ajuste durante el proceso de pulpeo fue la concentración del álcali activo y que la misma es sabido que afecta sensiblemente las propiedades de la pulpa y la blanqueabilidad de la misma se discuten los resultados obtenidos con todos los orígenes evaluados en los cinco ensayos.

Si analizamos el efecto de la carga de álcali sobre los parámetros del pulpeo vemos que (como fue mencionado en todos los ensayos) existe una relación negativa entre esta variable con el rendimiento en pulpa y la viscosidad de la misma (Figura 16). Esto se debe al ataque producido por la soda del licor sobre la celulosa y las hemicelulosas presentes en la pared de las fibras. Si bien es inevitable que exista cierta pérdida de material celulósico durante el pulpeo, el mismo podría ser atenuado mediante el uso de condiciones menos drásticas de cocimiento (menor temperatura, mayor sulfidez, fraccionamiento de la carga de álcali) y/o el uso de aditivos al licor (antraquinona y/o polisulfuros).

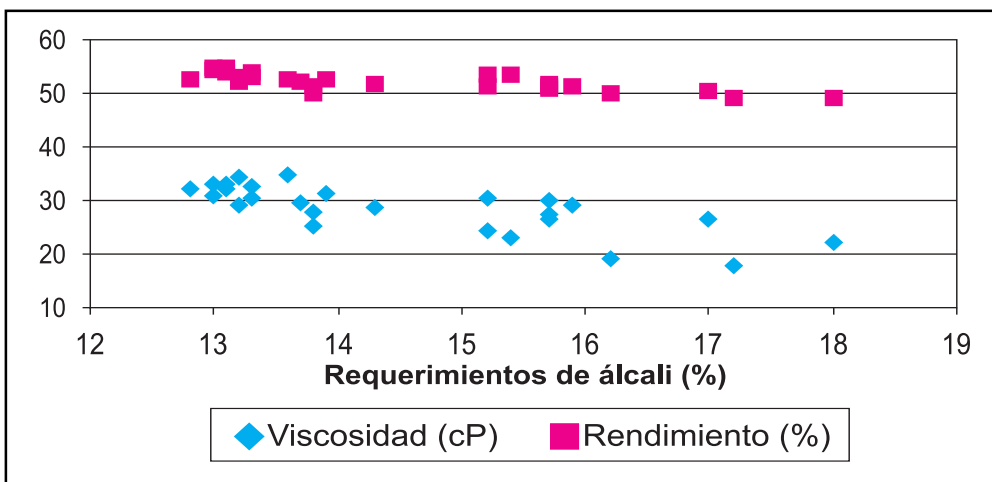


Figura 16. Relación entre el requerimiento de álcali activo, rendimiento y viscosidad de la pulpa para los orígenes de *E.globulus* en los cuatro sitios.

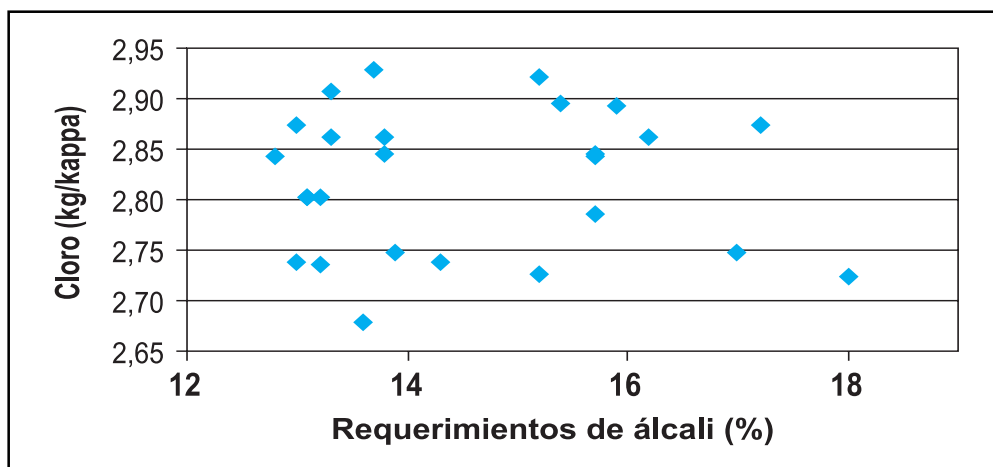


Figura 17. Relación entre el requerimiento de álcali activo y cloro activo para obtener 90% de blancura para los orígenes de *E. globulus* en los cuatro sitios.

Los resultados obtenidos para las condiciones de estos ensayos muestran que para obtener similares contenidos de lignina residual en la pulpa (Índice Kappa) es necesario la aplicación de niveles de álcali activo que varían de 13 a 18%. Esta variación está determinada fundamentalmente por la densidad básica y en alguna medida por la composición química de la madera. De la figura 16 surge que es posible obtener valores de rendimiento en pulpa relativamente altos aplicando bajas cargas de álcali, determinados por la baja densidad relativa como es mostrado en la figura 13. Por otro lado, los menores valores de rendimiento asociados a altos niveles de álcali están relacionados a maderas de relativa alta densidad básica y bajos consumos específicos. En cuanto a la viscosidad, si bien se observa un efecto negativo de la carga de álcali sobre este parámetro, los valores obtenidos no son limitantes de las propiedades mecánicas de las pulpas como ya fue discutido en párrafos anteriores.

Por otro lado, analizando los resultados de todos los orígenes se observa que no existe ninguna relación entre los niveles de álcali activo utilizado durante el pulpeo y los requerimientos de cloro para obtener grados de blanco próximos a 90% ISO (Figura 17). De los datos presentados se observa que es posible obtener bajos niveles de requerimientos de cloro asociados a altos valores de Índice Kappa

con bajos niveles relativos de cargas de álcali aplicados.

Esta tendencia es similar a la obtenida por Neto, et. al., 2002; Melo, R. com. pers., en estudios con esta especie.

#### a.4) Efecto de agentes patógenos sobre los parámetros del pulpeo

En los cuadros 29 y 30 se presentan los valores de densidad básica, requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa de árboles de diferentes orígenes afectados de podredumbre blanca (producida por *Inocutis jamaicensis*) y canchros. Para todos los materiales evaluados en general se observa que la podredumbre provoca una pequeña reducción en la densidad de la madera, un importante incremento en los requerimientos de reactivos, una reducción en el rendimiento y como consecuencia de lo anterior un aumento del consumo de madera. La mayor dificultad en la deslignificación podría estar asociada a un cambio en la composición química de la madera lo cual podría provocar que parte de los reactivos usados sean "desviados" del objetivo principal que es la disolución de la lignina y/o extractivos. Este aumento en la cantidad de reactivos sumado al hecho de que este hongo produce un deterioro de las fibras se traduce en una disminución del rendimiento.



**Cuadro 29.** Valores de densidad básica y parámetros del pulpeo de árboles con síntomas (c.s.) y sin síntomas (s.s.) de *Inocutis*

Orígenes	Incidencia <i>Inocutis</i> * (%)**	Db (g/cm <sup>3</sup> )		A.A (%)		Rend. Dep. (%)		Consumo específico (m <sup>3</sup> /ton cel.)	
		s.s.	c.s.	s.s.	c.s.	s.s.	c.s.	s.s.	c.s.
10	4.9	0.514	0.517	13.5	17.3	53.4	50.3	3.9	3,8
12	13.2	0.473	0.465	13.2	17.5	52.6	49.2	3.7	4,4
16	16.1	0.523	0.514	13.6	17.3	53.8	50.4	3.7	3,9
21	15.3	0.508	0.479	12.8	16.4	53.1	50.2	3.6	4,2
Diano	27.5	0.519	0.492	13.7	21.0	51.3	46.6	4.0	4,4
Media		<b>0.507</b>	<b>0.493</b>	<b>13.4</b>	<b>17.9</b>	<b>52.8</b>	<b>49.3</b>	<b>3.8</b>	<b>4,1</b>

\*Fuente: Balmelli et al, 2004

\*\* Porcentaje de árboles con síntomas de podredumbre

Considerando el promedio de todos los orígenes se detecta una disminución de casi 3% en la densidad, un incremento de 34% en los requerimientos de álcali, una disminución de casi el 7% en el rendimiento y un incremento en el consumo de madera del 8%.

Para el caso de la madera con síntomas de cancro, se observa que ocurre un aumento de la densidad básica y de los requerimientos de álcali, una reducción en el rendimiento y un aumento en el consumo con relación a la madera sin presencia de cancro. Con respecto a la incidencia sobre los parámetros del pulpeo podría afirmarse que los cambios ocurridos se deberían a alteraciones de los componentes químicos de la madera como lo mencionado para el caso de *inocutis*. Estos cambios son

detectados a simple vista como una coloración de la madera más oscura de lo normal probablemente debida a sustancias generadas como resultado del ataque del hongo, las cuales alterarían las condiciones normales de pulpeo. Según Foelkel (1978), las principales características de las maderas atacadas por cancro son una mayor densidad, fibras más cortas, más estrechas y de paredes más delgadas, vasos más cortos y más estrechos, altos tenores de extractivos y altos tenores de lignina. En este caso los resultados obtenidos muestran que en promedio para todos los orígenes ocurre un aumento del 6% en la densidad, del 31% en el requerimiento de álcali, una reducción del 9% en el rendimiento y un aumento de casi 6% en el consumo de madera.

**Cuadro 30.** Valores de densidad básica y parámetros del pulpeo de árboles con y sin síntomas de cancro

Orígenes	Severidad <i>Cancros</i> ** (1 a 5)	Db (g/cm <sup>3</sup> )		A.A (%)		Rend. Dep. (%)		Consumo específico (m <sup>3</sup> /ton cel.)	
		s.s.	c.s.	s.s.	c.s.	s.s.	c.s.	s.s.	c.s.
10	2.2	0.514	0.537	13.5	19.0	53.4	46.9	3.9	4,0
12	2.3	0.473	0.551	13.2	17.1	52.6	48.1	3.7	3,8
16	2.6	0.523	0.523	13.6	16.0	53.8	49.4	3.7	3,9
21	2.3	0.508	0.526	12.8	18.1	53.1	47.8	3.6	4,0
Diano	2.3	0.519	0.544						
Media		0.507	0.536	<b>13.4</b>	<b>17.6</b>	<b>52.8</b>	<b>48.1</b>	<b>3.7</b>	<b>3.9</b>

\*\*Fuente: Balmelli et al, 2004

**b) *Eucalyptus maidenii***

**b.1) Caracterización de fuentes de semilla en zonas 2, 7, 8 y 9**

**• Ensayo en Parada Medina (Rivera) - E 56**

En el cuadro 31 son presentados los resultados de volumen, IMA y proporción de corteza de los orígenes de *E.maidenii* evaluados al séptimo año. El análisis de los datos indica que existen diferencias significativas entre materiales solo para la variable proporción de corteza. Los datos de crecimiento muestran que los orígenes 7 y 4 de la región de "Bolaro Mountain" son los que alcanzan los mayores valores de IMA sin corteza con valores de 24 y 21.3 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. El resto de los materiales presentan valores muy similares oscilando de 16 a 18 m<sup>3</sup>/ha/año. Los valores de proporción de corteza no muestran mayores diferencias entre materiales a excepción del origen 2 "Mt. Dromedary" el cual presenta el valor más bajo con 20.7%.

El análisis de los datos muestra que no se detectan diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali activo, rendimiento en pulpa y tenor de rechazos (Cuadro 32). Los valores de álcali son muy similares entre orígenes variando de 16.1 a 16.7 %. A pesar de que estadísticamente los valores de rendimiento en pulpa son similares para todos los materiales los orígenes 4 "Bolaro Mountain" y 2 "Mt. Dromedary" muestran los valores más altos con 51.5 y 51.4%, respectivamente. Los valores de rechazo son bajos en todos los casos. Los valores de requerimientos de álcali activo muestran cierta tendencia negativa con el rendimiento en pulpa.

El análisis de los datos muestra que existen diferencias significativas entre orígenes solo para las variables densidad básica y consumo específico de madera (Cuadro 33). Los valores más altos de densidad básica corresponden a los orígenes 4 y 7 de la región de "Bolaro Mountain", con 0.584 y 0.580 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. A diferencia de lo observado con los orígenes de *E.globulus*, en este caso no se detecto ninguna relación definida

**Cuadro 31.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E.maidenii*

Código	Origen	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
1	Black Range Via Eden	118.6 <sup>a</sup>	18.3	24.6 <sup>a</sup>
2	Mt. Dromedary	103.5 <sup>a</sup>	16.2	20.7 <sup>b</sup>
3	Poole Road Via Eden	113.7 <sup>a</sup>	17.4	23.7 <sup>a</sup>
4	Bolaro Mountain	148.5 <sup>a</sup>	21.3	23.1 <sup>ab</sup>
7	Bolaro Mountain	153.7 <sup>a</sup>	24.0	22.8 <sup>ab</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 32.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E.maidenii*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
1	16.7 <sup>a</sup>	17.3	49.9 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>
2	16.5 <sup>a</sup>	17.8	51.4 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>
3	16.3 <sup>a</sup>	17.7	50.2 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>
4	16.1 <sup>a</sup>	18.1	51.5 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>
7	16.6 <sup>a</sup>	18	50.5 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 33.** Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
1	0.574 <sup>a</sup>	3.5ab	33.4	2.0a
2	0.548b	3.6 <sup>a</sup>	29.6	1.8 <sup>a</sup>
3	0.553 <sup>b</sup>	3.6ab	31.9	2.0a
4	0.584 <sup>a</sup>	3.3b	44.8	1.8 <sup>a</sup>
7	0.580 <sup>a</sup>	3.4ab	45.2	1.9 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 34.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
1	50.4	2.9	20.5	90.6
2	50.4	2.8	23.4	90.2
3	50.4	2.8	23.6	89.6
4	50.4	2.7	22.5	90.6
7	50.4	2.8	22.4	89.9

entre los valores de densidad básica y requerimientos de álcali. Tampoco se observó ninguna relación entre los valores de densidad y rendimiento en pulpa. Probablemente, las diferencias en los requerimientos de álcali (aunque pequeñas) estén asociadas a diferencias en la composición química de la madera de los materiales evaluados.

Los valores de consumo específico muestran que el origen 4 "Bolaro Mountain" es el que presenta el menor valor (3.3 m<sup>3</sup>/ton.cel.) seguido por el origen 7 de la misma región. Estos valores están explicados por los altos valores de densidad en ambos casos y de rendimiento en pulpa del origen 4. Los mayores valores de producción de pulpa de los orígenes de la región de "Bolaro Mountain" reflejan los crecimientos superiores de estos materiales.

La tendencia del tenor de sólidos es muy similar a la observada con los valores de rendimiento en pulpa en el sentido de que los materiales de mayor rendimiento son los que muestran el menor valor de tenor de sólidos.

Los resultados del blanqueo de estos materiales son presentados en el cuadro 34. Los valores obtenidos muestran que todos los materiales son muy similares en cuanto a su blanqueabilidad expresada en términos de consumo de cloro y grado de blanco obtenido. Los valores de viscosidad obtenidos son altos en todos los casos.

Las propiedades papeleras evaluadas muestran que los materiales de mayor densidad básica en general tienen mayores requerimientos de energía de refinado por las razones que fueron citadas anteriormente (Cuadro 35). Al

**Cuadro 35.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
1	2070	24	71.1	6.0	9.5
2	2070	24	71.4	5.2	9.6
3	2090	23	68.9	5.5	10.8
4	2200	25	75.0	6.4	9.1
7	2150	23	76.1	5.7	9.7

contrario de lo observado para los orígenes de *E.globulus* no se observa un efecto tan claro de la densidad de la madera sobre las propiedades de resistencias medidas. Una de las razones que podrían estar explicando esta falta de relación entre los parámetros mencionados es el bajo número de registros considerados en este caso. Por otro lado, además de la densidad, otros de los factores que pueden estar incidiendo sobre las resistencias de las pulpas son el número de fibras por gramo, largo de las fibras y el tenor de hemicelulosas de la pared de las mismas (pentosanos). De acuerdo a la literatura una disminución de largo de las fibras, asociado a un aumento en el número de fibras por gramo (fibras de menor tamaño) produciría papeles de mayor resistencia aun con similares valores de flexibilidad (relación largo/diámetro de las fibras). A su vez las hemicelulosas intervienen en el desarrollo de las propiedades del papel en el sentido de que pulpas con mayores niveles de pentosanos tienden a aumentar los valores de resistencia a la tracción y disminuir el volumen específico (Milanez, 1982; Demuner et al., 1991).

Los valores de resistencias obtenidos son muy similares para todos los materiales evaluados

y próximos a los reportados en la literatura para esta especie (Backman y García de Leon, 2003; van Wyk y Gerischer, 1994, Doldán, J. Com pers.)

• **Ensayo en Palmitas (Soriano) - E 57**

El análisis de los resultados indica que existen diferencias significativas entre materiales para las variables volumen y proporción de corteza al séptimo año (Cuadro 36). Se destaca el origen 4 "Bolaro Mountain" con un IMA sin corteza de 13.1 m³/ha/año y un valor relativamente bajo de proporción de corteza (22.2%). Los orígenes 5 "Wyndham", 7 "Bolaro Mountain" y 2 "Mt.Dromedary" alcanzan un crecimiento intermedio con un IMA próximo a 10 m³/ha/año. El origen 6 "Yurammie S" es el de menor crecimiento (8.1 m³/ha/año) y el de mayor proporción de corteza (26.8%).

El análisis de los resultados del pulpeo muestra que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 37). En este sitio, en general los materiales evaluados tienen un comportamiento más variable que en el ensayo instalado en la zona 7.

**Cuadro 36.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E.maidenii*

Código	Origen	Volumen (m³/ha)	IMA (m³/ha/a)	Corteza (%)
2	Mt.Dromedary	63.9ab	9.8	21.6b
4	Bolaro Mountain	85.3 <sup>a</sup>	13.1	22.2b
5	Wyndham	67.7ab	10.4	24.5 <sup>b</sup>
6	Yurammie SF	52.5b	8.1	26.8 <sup>a</sup>
7	Bolaro Mountain	65.3ab	10.0	23.1b

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 37.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E.maidenii*.

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
2	24.1 <sup>a</sup>	45.4c	17.4	0.2 <sup>a</sup>
4	16.9b	51.2 <sup>a</sup>	18.4	0.2 <sup>a</sup>
5	18.9b	49.7 <sup>b</sup>	18.0	0.0a
6	23.8 <sup>a</sup>	45.7c	18.4	0.0a
7	20.2b	47.7bc	17.1	0.0a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

Los orígenes 2 “Mt.Dromedary” y 6 “Yurammie SF” son los que requieren los mayores niveles de álcali durante la cocción (24.1 y 23.8%, respectivamente). El valor más alto de rendimiento en pulpa corresponde al origen 4 “Bolaro Mountain” (51.2%) seguido por los orígenes 5 “Wyndham” y 7 “Bolaro Mountain” con 49.7 y 47.7%, respectivamente. Considerando todos los orígenes instalados en este sitio se observa una marcada relación negativa entre los valores de requerimientos de álcali y el rendimiento en pulpa. El uso de mayor carga de reactivos para obtener el mismo grado de deslignificación de la pulpa durante la cocción resulta en importantes pérdidas de material celulósico y menores rendimientos. Los valores de rechazo son bajos en todos los casos.

El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre materiales para las variables densidad básica, consumo específico de madera y tenor de sólidos por tonelada de celulosa producida (Cuadro 38). Los mayores valores de densidad básica corresponden a los orígenes 7 “Bolaro Mountain”, 5 “Wyndham” y 4 “Bolaro Mountain” con 0.606, 0.575 y 0.572 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Con estos orígenes, al igual que en el sitio anterior, no se observa una relación entre los valo-

res de densidad básica y requerimientos de álcali.

En cuanto al consumo de madera se observa que estos tres orígenes presentan los valores más bajos asociados a altos valores de rendimiento y densidad básica (3.5 y 3.4 m<sup>3</sup>/ton.cel, respectivamente). Desde el punto de vista de la producción de pulpa por ha el origen 4 “Bolaro Mountain” casi duplica al resultado obtenido por el origen 6 “Yurammie SF”, (25.1 vs 13.5 ton/há, respectivamente). Los valores del tenor de sólidos por ton. de celulosa muestran la misma tendencia que los valores de rendimiento en pulpa, con los orígenes 4 “Bolaro Mountain”, 5 “Wyndham” y 7 como los más eficientes desde este punto de vista (1.9, 2.0 y 2.3 tss/ton.cel., respectivamente).

A diferencia de lo que ocurre en el ensayo instalado en zona 7 se observa que los orígenes 4 y 7 de la región de “Bolaro Mountain” muestran un comportamiento muy diferente aunque provienen de regiones geográficamente próximas entre sí.

Los resultados del blanqueo indican que todos los materiales son muy similares en cuanto a su blanqueabilidad (Cuadro 39). En cuanto a los valores de viscosidad se observa que

**Cuadro 38.** Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
2	0.541c	4.1 <sup>a</sup>	15.4	2.7 <sup>a</sup>
4	0.572ab	3.4b	25.1	1.9c
5	0.575ab	3.5b	19.4	2.0bc
6	0.567bc	3.9 <sup>a</sup>	13.5	2.6 <sup>a</sup>
7	0.606 <sup>a</sup>	3.5b	18.9	2.3ab

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 39.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
2	50.4	2.9	10.7	90.5
4	50.4	2.7	14.4	90.6
5	50.4	2.8	20.2	90.4
6	50.4	2.7	11.3	90.5
7	50.4	2.9	13.6	91.2

**Cuadro 40.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
2	2200	25	68.9	5.0	8.3
4	2300	24	75.0	5.6	9.8
5	2350	24	73.3	5.5	9.5
6	2350	25	66.9	4.9	8.2
7	2400	24	73.9	5.5	9.8

ocurrió una disminución de los mismos con relación al ensayo instalado en la zona 7, a excepción del origen 5 “Wyndham”. Estos resultados están asociados a los altos valores de álcali usados durante el proceso de cocción los cuales provocaron un deterioro de las cadenas de celulosa y hemicelulosas de la pared de las fibras. Los valores de los orígenes 2 “Mt. Dromedary” y 6 “Yurammie SF” están próximos a los que se consideran como límites en cuanto al efecto negativo que podrían tener sobre las propiedades de resistencias de la pulpa.

Los valores de densidad básica, rendimiento y consumo específico de madera obtenidos en este sitio son algo inferiores a los reportados por Backman y García de León (2003), en un ensayo instalado en esta zona, con árboles de 9 años y similares condiciones de análisis. Por otro lado los valores de consumo de cloro activo son similares a los reportados por estos autores.

Los valores de las propiedades de resistencia indican que los orígenes evaluados tienen un comportamiento muy similar en cuanto a las características de las pulpas obtenidas (Cuadro 40). Los orígenes 2 “Mt. Dromedary” y 6 “Yurammie SF” presentan los valores más bajos en todos los índices de resistencias, lo que de alguna manera, es puesto de manifiesto con los menores valores de viscosidad de la pulpa de estos materiales. Esta mayor “degradación” de la pared de las fibras está relacionada a los altos valores de álcali activo usados durante el pulpeo y/o a los bajos valores de rendimiento en pulpa indicando una pérdida de material celulósico durante el pulpeo. A pesar de los bajos valores de viscosidad obtenidos las propiedades de resistencias no se consideran limitantes para la fabri-

cación de la mayoría de los papeles usados comercialmente.

Esta mayor “dificultad” de la deslignificación de estos materiales no está determinada por la densidad de la madera pudiendo estar explicada por la composición química de la misma.

En este caso fue observada una tendencia similar a la del ensayo anterior en el sentido de que la densidad de la madera no es un buen indicador de los parámetros de resistencias mecánicas de las pulpas como fue observado con *E. globulus*.

#### • **Ensayo en Marmarajá (Lavalleja) - E 58**

En el cuadro 41 son presentados los valores de volumen, IMA (sin corteza) y proporción de corteza de los orígenes de *E. maidenii* evaluados al séptimo año. A pesar de que el análisis de varianza no detecta diferencias entre orígenes para las variables volumen por há y proporción de corteza se observa que los orígenes de mayor crecimiento son el 6 “Yurammie SF” y 5 “Wyndham” con valores de IMA de 19.2 y 18.0 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. Estos materiales son seguidos por los orígenes 7 “Bolaro Mountain” y 1 “Black Range Vía Eden” con un IMA próximo a 15 m<sup>3</sup>/ha/año. Los valores de proporción de corteza son similares para todos los materiales.

El análisis de los resultados del pulpeo no detecta diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali activo, rendimiento en pulpa y tenor de rechazo (Cuadro 42). Los valores de requerimientos de álcali activo son algo superiores para los orígenes 2 “Mt. Dromedary” y 6 “Yurammie SF” con 16.4 y

**Cuadro 41.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. maidenii*

Código	Origen	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
1	Black Range Via Eden	97.9 a	15.1	23.2 <sup>a</sup>
2	Mt. Dromedary	75.5 a	11.6	21.2a
5	Wyndham	116.7 a	18.0	21.7 <sup>a</sup>
6	Yurammie SF	125.0 a	19.2	21.5 <sup>a</sup>
7	Bolaro Mountain	102.0 a	15.7	21.5 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 42.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
1	14.8 <sup>a</sup>	50.9 <sup>a</sup>	17.9	0.1 <sup>a</sup>
2	16.4 <sup>a</sup>	49.8 <sup>a</sup>	18.7	0.0a
5	15.7 <sup>a</sup>	50.7 <sup>a</sup>	18.0	0.1 <sup>a</sup>
6	16.3 <sup>a</sup>	49.2 <sup>a</sup>	17.5	0.2 <sup>a</sup>
7	15.1 <sup>a</sup>	50.8 <sup>a</sup>	18.2	0.2 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

16.3%, respectivamente. El valor más bajo corresponde al origen 1 "Black Range Via Eden". Si bien los valores de rendimiento en pulpa son muy similares para los materiales evaluados se observa una marcada relación negativa entre los requerimientos de álcali y el rendimiento. Las diferencias entre orígenes en cuanto a la producción de pulpa por ha son más notorias que considerando aisladamente el crecimiento y/o los parámetros del pulpeo. Los valores de rechazo son similares y muy bajos en todos los casos.

En el cuadro 43 se presentan los valores de densidad básica, consumo específico de madera, producción de pulpa y el tenor de sólidos generados por tonelada de celulosa pro-

ducida. El análisis no detecta diferencias significativas entre orígenes para ninguna de las variables evaluadas. Se observa una leve superioridad del origen 7 "Bolaro Mountain" en cuanto a la densidad básica y (como consecuencia de este parámetro y del rendimiento) al consumo de madera. Con estos materiales no se observa una relación definida entre los valores de densidad básica y los requerimientos de álcali durante la cocción lo que estaría indicando que este último parámetro podría estar explicado eventualmente por la composición química de la madera. Los valores de producción de pulpa acentúan aun más las diferencias entre orígenes comparado con las diferencias registradas en el crecimiento. Los orígenes más productivos son el 6

**Cuadro 43.** Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. maidenii*.

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
1	0.521 <sup>a</sup>	3.8 <sup>a</sup>	27.8	1.9 <sup>a</sup>
2	0.504 <sup>a</sup>	3.9 <sup>a</sup>	19.6	2.0a
5	0.507 <sup>a</sup>	3.9 <sup>a</sup>	30.9	1.9 <sup>a</sup>
6	0.525 <sup>a</sup>	3.9 <sup>a</sup>	31.2	2.1 <sup>a</sup>
7	0.551 <sup>a</sup>	3.6 <sup>a</sup>	26.9	1.9 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 44.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
1	50.4	2.7	22.6	91.5
2	50.4	2.6	23.6	91.3
5	50.4	2.7	22.0	90.8
6	50.4	2.9	18.4	90.4
7	50.4	2.8	21.6	90.5

**Cuadro 45.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E. maidenii*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
1	2150	24	81.3	6.4	9.4
2	2200	26	87.5	6.5	8.5
5	2150	25	78.7	6.2	9.5
6	2200	26	73.7	6.2	8.6
7	2200	24	84.7	6.3	10.3

“Yurammie SF” y 5 “Wyndham” con 31.2 y 30.9 ton.cel./ha. Los tenores de sólidos por ton. de celulosa indican que todos los materiales evaluados son igualmente eficientes en términos de obtención de material celulósico por ciclo de producción.

Los resultados del blanqueo de estos materiales son presentados en el cuadro 44. A través del mismo se observa que todos los orígenes tienen un comportamiento similar medido en términos de consumo de cloro y grado de blanco obtenido. Los valores de viscosidad obtenidos son altos indicando un alto grado de conservación de las fibras en todos los materiales.

El cuadro 45 presenta los valores de capacidad de refino y propiedades mecánicas de las pulpas de los orígenes evaluados. En este caso los resultados obtenidos son algo superiores

a los medidos en los dos ensayos anteriores probablemente asociado a que en promedio los materiales de este sitio tienen una menor densidad de la madera. Por otro lado se mantiene la misma tendencia que la observada en los dos sitios anteriores en el sentido de que todos los materiales evaluados tienen un comportamiento similar y que las propiedades mecánicas estarían determinadas por otros factores además de la densidad de la madera.

*Análisis del efecto del sitio - E 56 vs E 57 vs E58*

Evaluando el comportamiento de los 2 orígenes comunes en los tres ensayos surge que el análisis de varianza detecta diferencias significativas entre sitios para la densidad básica, requerimientos de álcali, rendimiento en pulpa y consumo de madera (Cuadro 46).

**Cuadro 46.** Resultados del pulpeo y productividad de los 2 orígenes comunes instalados en Marmarajá (zona 2), P. Medina (zona 7) y Palmitas (zona 9)

	A.A. (% p.s)	Rend. Dep. (%)	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo (m <sup>3</sup> /ton)	Prod. Pulpa (ton/há)
Zona 2	15.7b	50.3 <sup>a</sup>	0.527b	3.8 <sup>a</sup>	23.2
Zona 7	16.6b	50.9 <sup>a</sup>	0.560 <sup>a</sup>	3.5b	37.4
Zona 9	22.2 <sup>a</sup>	46.5b	0.570 <sup>a</sup>	3.8 <sup>a</sup>	17.1

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%



En promedio se observa que los orígenes instalados en la zona 9 tienen un mayor requerimiento de álcali durante la cocción, menor rendimiento y mayor densidad básica que en los ensayos de las zonas 2 y 7. Si bien estos datos se refieren al comportamiento de solo dos orígenes, surge que de los tres ensayos evaluados el de la zona 7 se destaca por presentar el menor consumo de madera y la mayor producción de pulpa por ha.

tencia de interacción significativa entre los genotipos y el sitio para las variables densidad básica, requerimientos de álcali, rendimiento en pulpa y consumo de madera (Figuras 18, 19, 20, 21 y 22). Esto implica que el comportamiento relativo de los orígenes fue muy similar en los sitios y que por lo tanto es independiente del mismo. Dicho de otro modo, el origen de mejor resultado en un ensayo mantiene su superioridad en el resto de los mismos.

*Análisis de la interacción genotipo - ambiente*

El análisis efectuado con los dos orígenes comunes a los tres sitios no determinó la exis-

Analizando el comportamiento de los dos orígenes instalados en las tres zonas se observa que el origen 7 "Bolaro Mountain" en general presenta los valores más altos de densidad básica, menores requerimientos de álcali,

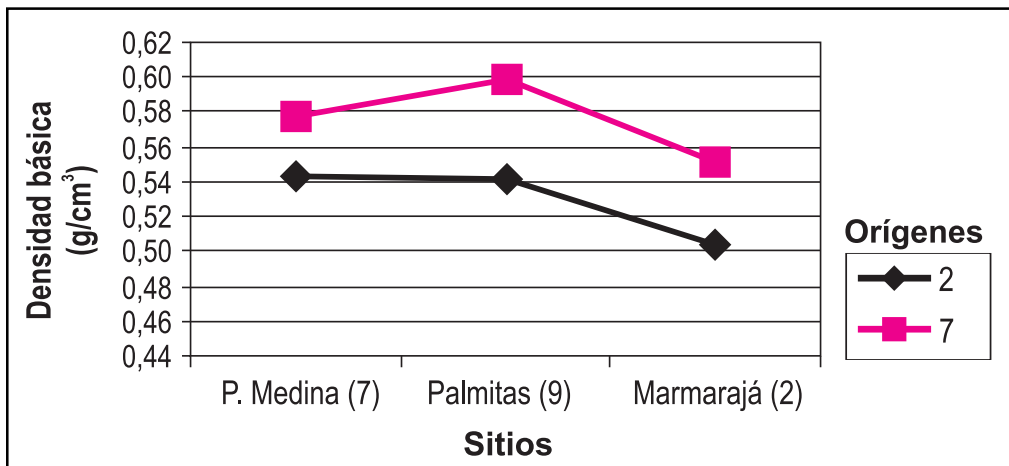


Figura 18. Densidad básica de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

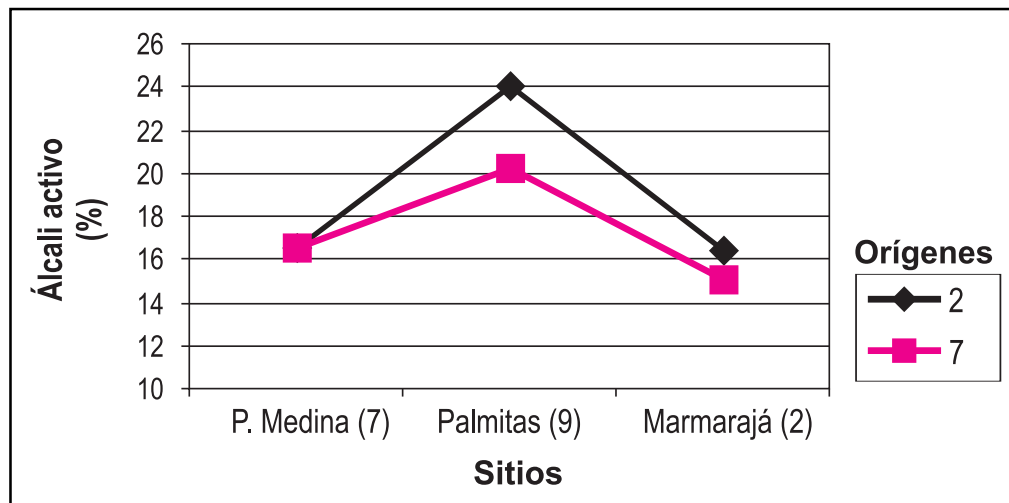


Figura 19. Requerimientos de álcali durante el pulpeo de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

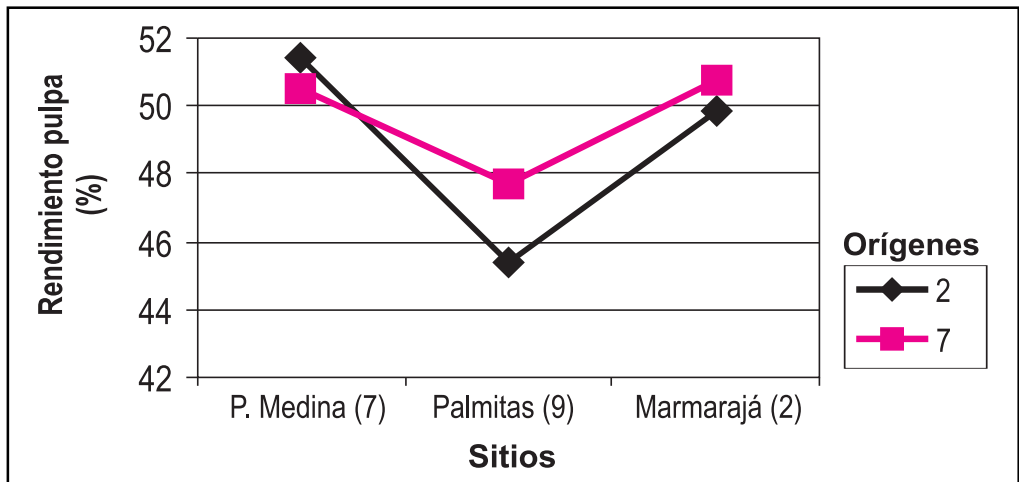


Figura 20. Rendimiento en pulpa de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

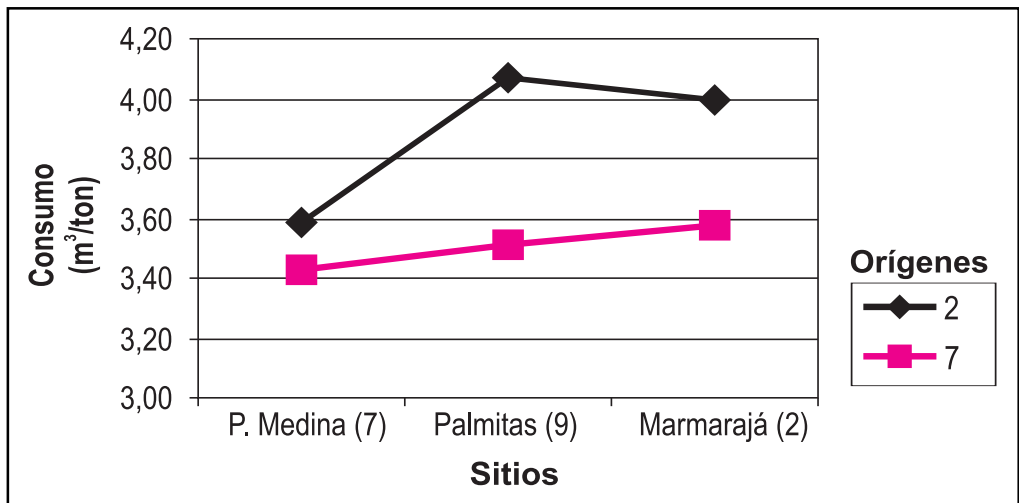


Figura 21. Consumo de madera de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

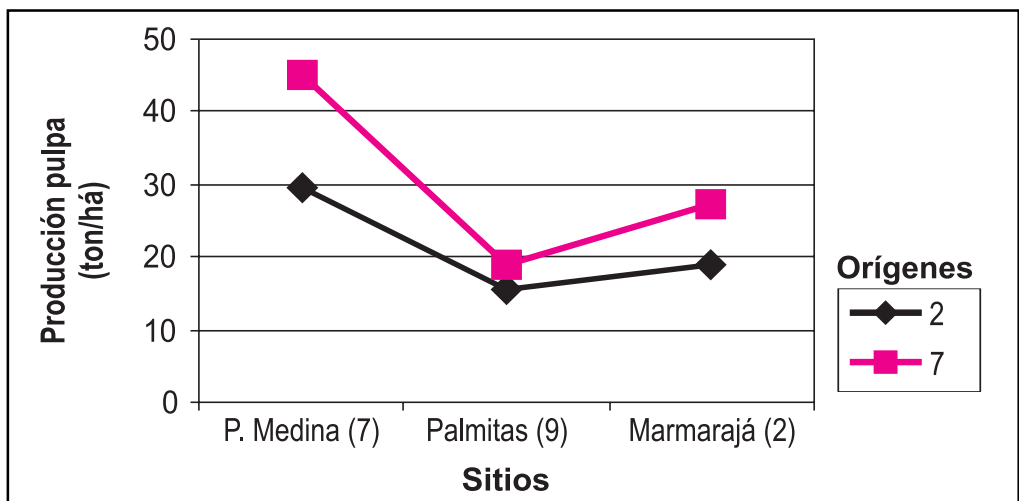


Figura 22. Producción de pulpa de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

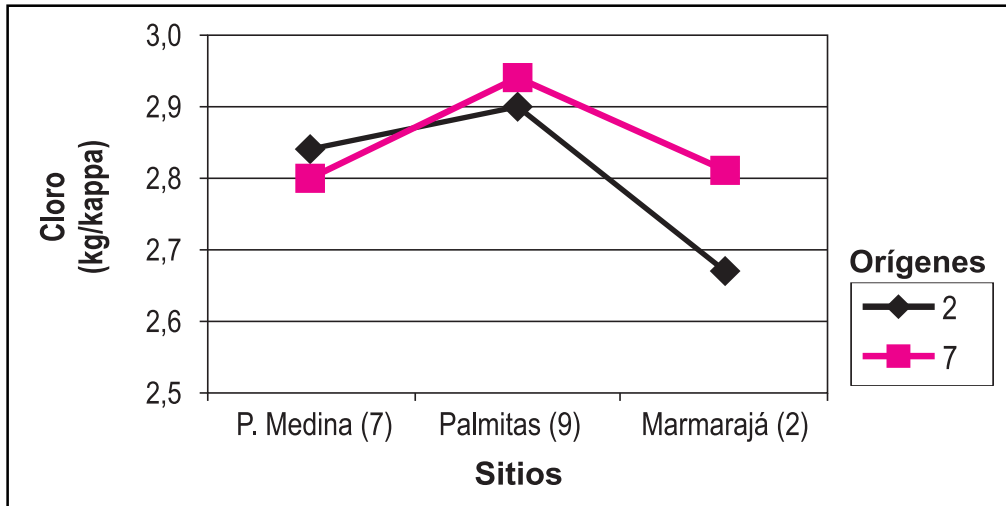


Figura 23. Requerimientos de cloro activo para obtener 90% de blancura con los orígenes de *E. maidenii* comunes en los dos sitios

mayor rendimiento (excepto en la zona 7), menor consumo de madera y mayor producción de pulpa por há. A su vez este material muestra un comportamiento relativamente más estable comparado con el origen 2 “Mt. Dromedary”.

Al igual que para *E. globulus*, a pesar que no fue realizado un análisis del efecto sitio ni de la interacción genotipo ambiente para los parámetros del blanqueo no se observan grandes diferencias entre ensayos, ni entre orígenes comunes a varios sitios sobre la blanqueabilidad de todos los orígenes evaluados (Figura 23). La variabilidad en los niveles de consumo de cloro en los tres sitios es debida al contenido inicial de lignina ( $18 \pm 1$ ) previo al proceso de blanqueo.

#### Materiales comerciales

Los resultados de la evaluación de las fuentes de semilla comercial son presentados en el cuadro 47. El material *E. maidenii* I “Black Range” plantado en la zona 9 presenta un muy alto valor de densidad básica ( $0.619 \text{ g/cm}^3$ ) comparado con los resultados obtenidos en los ensayos de orígenes presentados anteriormente. Como ya fuera mencionado los orígenes instalados en la zona 9 en general presentan mayor densidad básica que en las zonas 2 y 7. En estas zonas esta fuente de semilla tiene valores de  $0.521$  y  $0.574 \text{ g/cm}^3$ , res-

pectivamente. El alto nivel de carga de álcali activo usado durante el pulpeo para obtener el nivel de  $lk$  buscado incide directamente sobre el bajo valor de rendimiento en pulpa obtenido (44.8%).

Los materiales *E. maidenii* II y III “Bolaro Mountain” tienen prácticamente el mismo valor de densidad de la madera a pesar de haber sido plantados en las zonas 9 y 8 además de tener 8 y 10 años, respectivamente. Este material instalado en el ensayo de orígenes en la zona 9 tiene valores de densidad que oscilan de  $0.572$  a  $0.606 \text{ g/cm}^3$ . Los requerimientos de álcali activo son inferiores a los determinados para el *E. maidenii* I lo que determina que los rendimientos en pulpa de los materiales II y III sean más altos. De todas maneras los valores de consumo de madera son muy similares en los tres casos indicando que todos los materiales son igualmente eficientes desde el punto de vista la cantidad de madera necesaria para producir una tonelada de celulosa.

En cuanto a las propiedades de la pulpa blanqueada se observa que los valores de viscosidad son altos en todos los casos. Los requerimientos de refinado tienen estrecha relación con la densidad de la madera de modo que el *E. maidenii* I es el que muestra el número de revoluciones (2700 rev.) más alto de los tres materiales evaluados. *E. maidenii* II y III que

**Cuadro 47.** Resultados del pulpeo, blanqueo y propiedades del papel de los materiales evaluados

PARAMETROS	<i>E.maidenii</i> *	<i>E.maidenii</i> II **	<i>E.maidenii</i> III **
Db (g/cm <sup>3</sup> )	0.619	0.587	0.588
A.A.(% p.s.)	22.7	20.3	17.0
Índice Kappa	18.5	17.9	18.0
Rend. Dep. (%)	44.8	47.1	51.0
Consumo (m <sup>3</sup> /ton.cel)	3.6	3.6	3.5
ClO <sub>2</sub> (Kg/ton Pulpa seca)	-	-	50.4
ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad Kappa)	-	-	2.8
Viscosidad (cP)	15.5	16.8	23
Grado de blanco (% ISO)	-	-	89.4
Numero de Revoluciones	2700	2450	2250
Grado de Refino (°SR)	24	25	23
Índice de tracción (N.m/g)	62.8	69.3	82.9
Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	4.7	5.2	6.2
Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)	10.1	9.9	10.2

\* Pulpa blanqueada solo con Oxígeno

\*\* Fuente: Crosa y Quagliotti, 2004

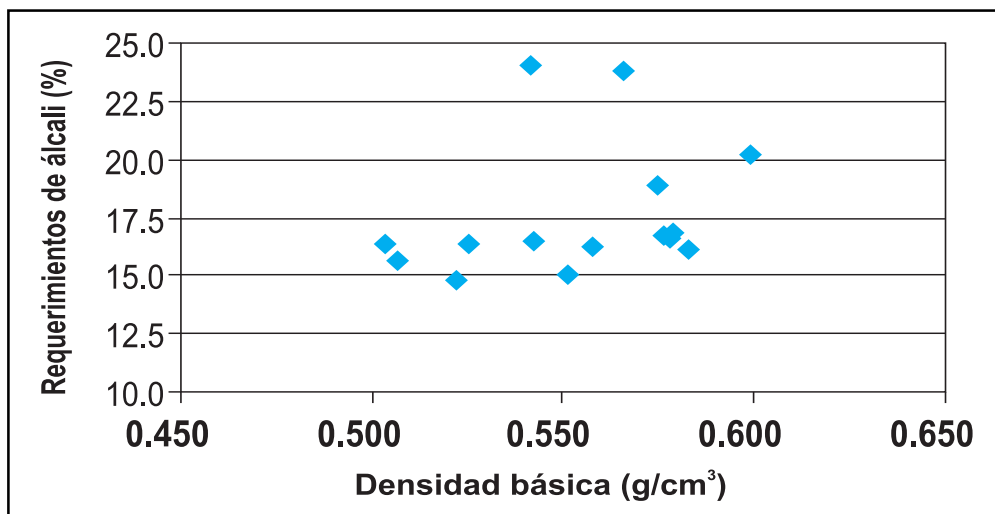
tienen el mismo valor de densidad requieren de similares niveles de refino. Las propiedades de resistencia son similares para los tres casos al igual que lo obtenido en los ensayos anteriormente citados.

nidos con todos los orígenes en los tres sitios se observa (para las condiciones de esos ensayos) que:

- Los valores de densidad de la madera y los requerimientos de álcali son independientes de modo que este último parámetro estaría determinado por eventuales diferencias en la composición química de la madera de los materiales evaluados (Figura 24).

**b.2) Relaciones entre la densidad de la madera y los parámetros del pulpeo**

Analizando en forma conjunta los datos obte-



**Figura 24.** Relación entre los valores de densidad básica y requerimientos de álcali para todos los orígenes de *E.maidenii* evaluados.

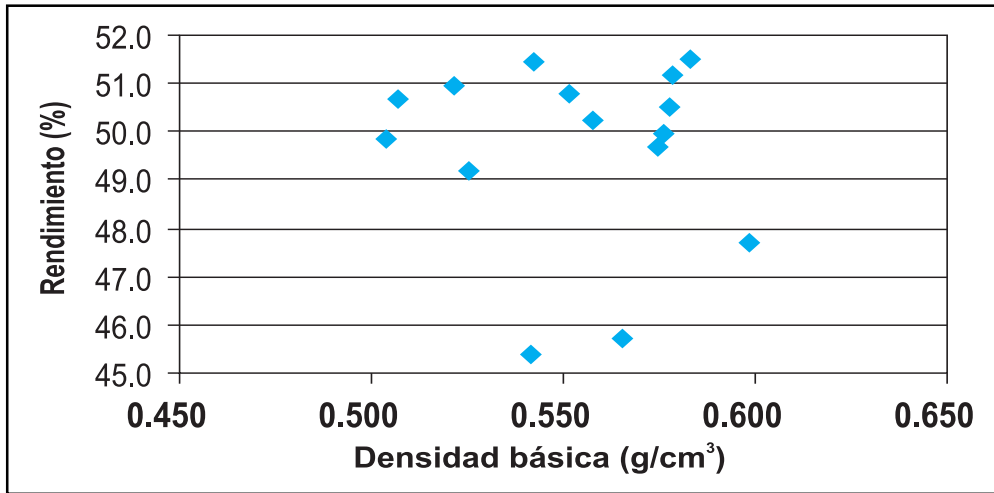


Figura 25. Relación entre los valores de densidad básica y rendimiento en pulpa para todos los orígenes de *E. maidenii* evaluados.

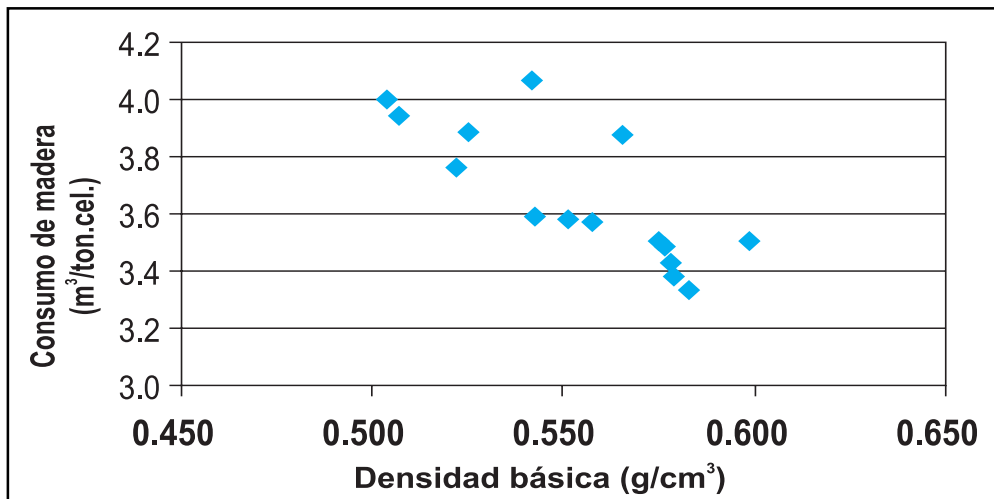


Figura 26. Relación entre los valores de densidad básica y consumo de madera para todos los orígenes de *E. maidenii* evaluados.

- No existe una relación definida entre la densidad y el rendimiento de modo que los materiales más densos tienen un comportamiento variable probablemente dependiente de otras características de la madera como fue mencionado en capítulos anteriores (Figura 25).
- Existe una relación negativa entre la densidad y el consumo de madera por razones similares a las comentadas para el caso de *E. globulus*. (Figura 26).

Considerando todos los casos se observa que los valores de densidad básica variaron de 0.503 a 0.619 g/cm<sup>3</sup>, el rendimiento en pulpa de 44.8 a 51.5%, el consumo de madera de 3.3 a 4.1 m<sup>3</sup>/ton.cel y los requerimientos de álcali de 14.8 a 24.1%.

En términos generales, desde el punto de vista del pulpeo, se desprende que podrían seleccionarse materiales genéticos de *E. maidenii* que sean de alta densidad básica, que permitan obtener altos rendimientos, con

bajos requerimientos de reactivos y bajos consumos de madera como fuentes de materia prima para la industria. Tal es el caso de los orígenes provenientes de la región de "Bolaro Montain" y "Black Range Via Eden" los cuales combinan altos valores de densidad básica, altos valores de rendimiento asociados a bajos valores de consumo de madera.

En cuanto a la blanqueabilidad se observa una tendencia muy similar a la obtenida con *E.globulus* en el sentido de que los requerimientos de cloro activo por ton. de celulosa con esta secuencia de blanqueo son iguales para todos los materiales. También ocurre que los requerimientos de cloro activo por unidad que se baja el índice kappa para obtener niveles de blancura de 90% presentan variaciones para todos los orígenes. En este caso los valores de requerimientos de cloro varían de 2.67 a 2.94 kg/DKappa para todos los orígenes evaluados. Estas diferencias estarían explicadas por las mismas razones que las mencionadas para *E.globulus*.

**b.3) Efecto de la carga de álcali activo sobre el pulpeo y blanqueo**

Analizando el efecto de la carga de álcali so-

bre los parámetros del pulpeo se observa que (como con *E.globulus*) existe una relación negativa entre esta variable con el rendimiento en pulpa y la viscosidad de la misma (Figura 27). Los resultados obtenidos indican que para obtener similares contenidos de lignina residual en la pulpa es necesaria la aplicación de niveles de álcali activo que varían de 15 a 24%. Esta variación probablemente está determinada por la composición química de la madera. De estos datos surge que es posible obtener altos valores de rendimiento aplicando bajas cargas de álcali asociados a altos valores de densidad básica y por lo tanto bajo consumo como es mostrado en la figuras 25 y 26.

Los valores de viscosidad obtenidos en general son altos excepto para niveles de álcali del entorno de 24% los cuales estarían próximos a los valores límites de esta variable en cuanto al efecto sobre las propiedades mecánicas de las pulpas.

Analizando los resultados del blanqueo de todos los orígenes evaluados vemos que no existe ninguna relación entre los niveles de álcali activo utilizado durante el pulpeo y los requerimientos de cloro para obtener grados de blanco próximos a 90% ISO (Figura 28).

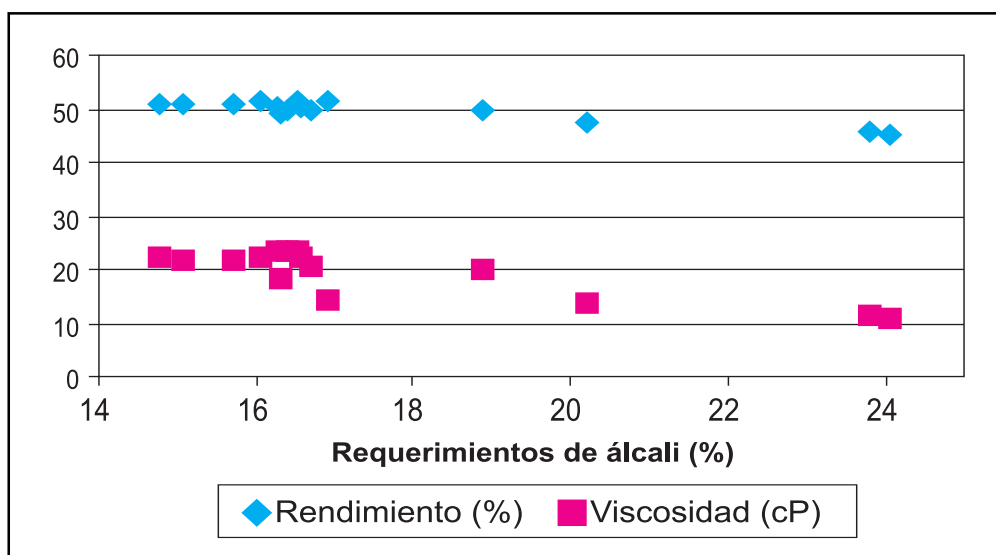


Figura 27. Relación entre el requerimiento de álcali activo, rendimiento y viscosidad de la pulpa para los orígenes de *E.maidenii* en los tres sitios.

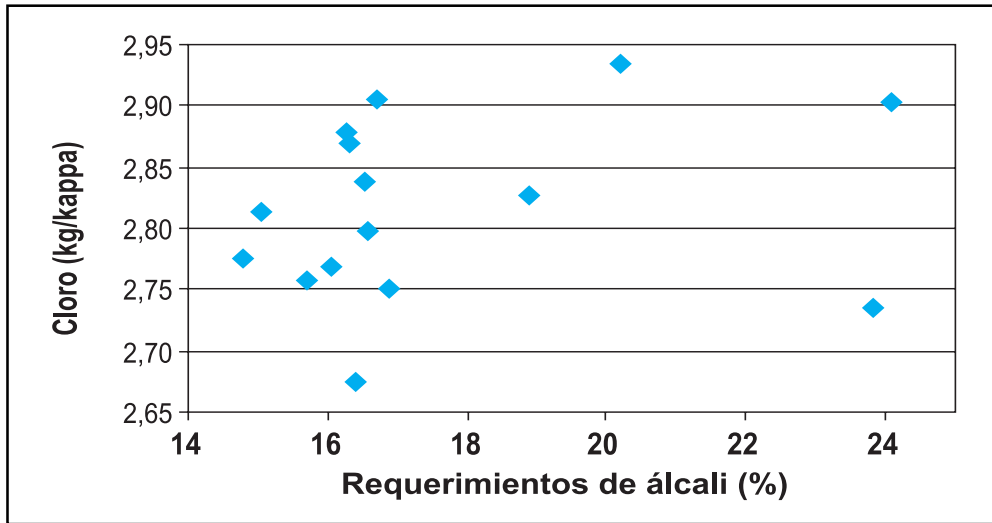


Figura 28. Relación entre el requerimiento de álcali activo y cloro activo para obtener 90% de blancura para los orígenes de *E. maidenii* en los tres sitios.

**c) *Eucalyptus grandis***

**c.1) Caracterización de fuentes de semilla en zonas 7, 8 y 9**

**• Ensayo en Tacuarembó - E 21**

En el cuadro 48 son presentados los datos de volumen, IMA y proporción de corteza de los orígenes evaluados al décimo año. El análisis de los datos indican que existen diferencias significativas entre orígenes solo para la variable proporción de corteza. En general todos los materiales tienen buenos crecimientos

pero los valores más altos son obtenidos por los orígenes 2 “Orara W. C. Harbour” y 7 “Near C. Harbour” con un IMA sin corteza de 59.6 y 58.5 m³/ha/año. También existe un grupo de orígenes de la región de Coff Harbour que alcanzan altos valores de crecimiento con IMAs de 50 a casi 53 m³/ha/año. De estos datos surge que en la región de Coff Harbour existe una importante variación en cuanto al crecimiento de los materiales lo cual resalta la importancia de la correcta elección de la fuente de semilla a usar. Los valores de proporción de corteza varían desde 10.9% (origen 4 “16 km. N.C. Harbour”) a 13.5% (origen 6 “Near C. Harbour”).

Cuadro 48. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. grandis*

Código	Origen	Volumen (m³/ha)	IMA (m³/ha/a)	Corteza (%)
2	Orara W. C. Harbour	596 a	59.6	12.3 <sup>abc</sup>
3	NW C. Harbour	512 a	51.2	11.8 <sup>abc</sup>
4	16 km. N.C. Harbour	501 a	50.1	10.9 <sup>c</sup>
6	Near C. Harbour	425 a	42.5	13.5 <sup>a</sup>
7	Near C. Harbour	585 a	58.5	11.5 <sup>bc</sup>
10	Near C. Harbour	526 a	52.6	11.2 <sup>bc</sup>
17	Wedding Bells SF	490 a	49.0	12.6 <sup>b</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

El análisis de los resultados del pulpeo muestra que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 49).

El valor más alto de requerimientos de álcali durante la cocción corresponde al origen 7 "Near C. Harbour" con 18%. El resto de los materiales evaluados presentan valores similares variando de 17.3 a 16.6%. En relación al rendimiento en pulpa se observa que los orígenes 6 "Near C. Harbour" y 3 "NW C. Harbour" son los que presentan los valores más altos con 52.7 y 52.2%, respectivamente. El resto de los materiales tienen valor similares oscilando de 50.9 a 51.8%. A diferencia de lo ocurrido con las evaluaciones citadas anteriormente, en este caso los datos de requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa no muestran ninguna relación definida. Los valores de rechazo son bajos e iguales para todos los materiales.

El análisis de varianza detecta diferencias significativas entre orígenes para las variables

densidad básica, consumo de madera y tenor de sólidos (Cuadro 50). Los orígenes 6 "Near C. Harbour" 17 "Wedding Bells SF" y 4 "16 km. N.C. Harbour" son los de mayor densidad con 0.441, 0.423 y 0.419 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. El resto de los materiales presentan valores similares variando de 0.406 a 0.390 g/cm<sup>3</sup>. La tendencia de estos datos muestra la relativa independencia entre la densidad básica y los requerimientos de álcali. Los valores de consumo de madera muestran que los más bajos corresponden a los orígenes 6 "Near C. Harbour" 17 "Wedding Bells SF" y 4 "16 km. N.C. Harbour" con valores de 4.3, 4.6 y 4.6 m<sup>3</sup>/ton.cel. asociados a los altos valores de densidad. La producción de pulpa por há refleja directamente las diferencias observadas en el crecimiento destacándose los orígenes 2 "Orara W. C. Harbour" y 7 "Near C. Harbour" con 125 y 123 ton/há. En cuanto a los tenores de sólidos por tonelada de celulosa se observa que los mismos son relativamente similares para todos los materiales evaluados oscilando de 1.7 a 1.9 tss/ton.cel.

**Cuadro 49.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. grandis*.

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
2	17b	50.9b	18.1	0.1 <sup>a</sup>
3	17.3ab	52.2ab	17.3	0.0a
4	17.3ab	51.8ab	17.7	0.0a
6	16.6b	52.7 <sup>a</sup>	17.5	0.0a
7	18 <sup>a</sup>	51.4ab	18.1	0.0a
10	16.9b	51.4ab	17.6	0.1 <sup>a</sup>
17	16.8b	51.4ab	18.4	0.0a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 50.** Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
2	0.398bc	4.9 <sup>a</sup>	123	1.9
3	0.390c	4.9 <sup>a</sup>	103	1.8bc
4	0.419abc	4.6ab	111	1.8abc
6	0.441 <sup>a</sup>	4.3b	99	1.7c
7	0.406bc	4.8 <sup>a</sup>	125	1.8 <sup>ab</sup>
10	0.405bc	4.8 <sup>a</sup>	111	1.8 <sup>ab</sup>
17	0.423 <sup>ab</sup>	4.6ab	107	1.8 <sup>ab</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%



**Cuadro 51.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E.grandis*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
2	58.3	3.3	19.2	90.0
3	58.3	3.4	18.8	91.1
4	58.3	3.3	21.0	90.8
6	58.3	3.3	18.0	90.5
7	58.3	3.2	20.7	91.6
10	58.3	3.3	17.4	91.3
17	58.3	3.2	20.2	90.5

**Cuadro 52.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E.grandis*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
2	1400	23	82.6	6.2	9.2
3	1550	23	76.1	5.9	10.3
4	1800	23	83.0	6.0	10.0
6	2250	24	78.5	6.3	10.8
7	2000	25	78.4	6.0	9.9
10	2050	25	84.3	6.5	10.1
17	2250	27	83.7	6.8	10.4

Los resultados de los parámetros del blanqueo de estos orígenes son presentados en el cuadro 51. Los valores obtenidos muestran que todos los orígenes son muy similares en cuanto a su blanqueabilidad expresada en términos de consumo de cloro y grado de blanco obtenido. Los valores de viscosidad obtenidos son altos en todos los casos y por lo tanto no limitantes para las propiedades de resistencias de la pulpas.

Analizando los resultados del cuadro 52 se observa que los materiales de mayor densidad requieren mayores niveles de energía de refino para lograr un determinado grado de entrelazado de las fibras. En este sentido se destacan los orígenes 2 "Orara W. C. Harbour" y 3 "NW C. Harbour" con la mayor capacidad de desarrollar valores próximos a 25 °SR. Los valores de resistencias son similares para todos los orígenes evaluados. Las resistencias a la tracción y al estallido de las pulpas muestran una baja relación con la densidad de la madera.

#### • **Ensayo en Tres Bocas (Río Negro) - E 22**

En el cuadro 53 son presentados los valores de crecimiento y proporción de corteza al décimo año de los orígenes de *E.grandis*. Los orígenes de mayor valor de IMA sin corteza son el 16 "Huerto Semillero C.H." y 6 "Near C. Harbour" con 40.5 y 38 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. El mayor crecimiento del origen 16 se debe a que es una fuente de semilla proveniente de un huerto semillero. El resto de los materiales también alcanzan valores de crecimiento relativamente altos variando de 28.2 a 32.6 m<sup>3</sup>/ha/año. Al igual que en el ensayo de Tacuarembó los orígenes tienen un comportamiento diferente a pesar de provenir de regiones relativamente próximas. Los orígenes 16 y 6 además de ser los de mayor crecimiento presentan valores contrastantes en cuanto a la proporción de corteza con 12.1 y 16.2%, respectivamente. El resto de los materiales tienen valores similares y próximos a 14%.

**Cuadro 53.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. grandis*

Código	Origen	Volumen (m³/ha)	IMA (m³/ha/a)	Corteza (%)
3	NW C. Harbour	343 a	34.3	14.3 <sup>b</sup>
5	15 km. N.C Harbour	325 a	32.5	14.5 <sup>b</sup>
6	Near C. Harbour	380 a	38.0	16.2 <sup>a</sup>
7	Near C. Harbour	308 a	30.8	16.8 <sup>b</sup>
8	Near C. Harbour	282 a	28.2	14.3 <sup>ab</sup>
16	H.S.C. Harbour	405 a	40.5	12.1 <sup>b</sup>
17	Wedding Bells SF	326 a	32.6	14.0 <sup>ab</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 54.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
3	16.7 <sup>bc</sup>	51.3 <sup>abc</sup>	18.0	0.0 <sup>a</sup>
5	17 <sup>a</sup> <sup>b</sup>	50.9 <sup>bc</sup>	17.6	0.0 <sup>a</sup>
6	17.5 <sup>ab</sup>	51.7 <sup>abc</sup>	17.4	0.0 <sup>a</sup>
7	17.5 <sup>ab</sup>	51.3 <sup>abc</sup>	18.0	0.0 <sup>a</sup>
8	17.8 <sup>a</sup>	49.9 <sup>c</sup>	18.2	0.0 <sup>a</sup>
16	15.8 <sup>c</sup>	53.2 <sup>a</sup>	17.7	0.0 <sup>a</sup>
17	17.5 <sup>ab</sup>	52.1 <sup>b</sup>	18.1	0.0 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

El análisis de los resultados del pulpeo detecta diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimiento de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 54). Los valores de requerimiento de álcali son relativamente similares para la mayoría de los orígenes, excepto el 16 "H.S.C. Harbour" el cual presenta el valor más bajo (15.8%). Los valores del resto de los materiales varía de 16.7 a 17.8%. El origen 16 "H.S.C. Harbour" también se destaca por ser el de mayor rendimiento en pulpa

con 53.2%. La tendencia de los valores de requerimiento de álcali y rendimiento en pulpa muestra que ambos parámetros se comportan de manera independiente. Los rechazos son iguales para todos los materiales.

En el cuadro 55 son presentados los valores de densidad básica, consumo de madera, producción de pulpa y el tenor de sólidos por tonelada de celulosa producida. El análisis estadístico de los datos indica que existen

**Cuadro 55.** Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	D.b. (g/cm³)	Consumo m³/ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
3	0.434 <sup>b</sup>	4.5 <sup>a</sup>	76.3	1.9 <sup>abc</sup>
5	0.463 <sup>a</sup> <sup>b</sup>	4.2 <sup>a</sup> <sup>b</sup>	77.3	1.9 <sup>a</sup> <sup>b</sup>
6	0.466 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup> <sup>b</sup>	92.3	1.8 <sup>abc</sup>
7	0.429 <sup>b</sup>	4.5 <sup>a</sup>	69.8	1.9 <sup>abc</sup>
8	0.462 <sup>a</sup> <sup>b</sup>	4.3 <sup>a</sup> <sup>b</sup>	66.2	2.0 <sup>a</sup>
16	0.470 <sup>a</sup>	4.1 <sup>b</sup>	101.0	1.7 <sup>c</sup>
17	0.434 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup> <sup>b</sup>	74.9	1.8 <sup>bc</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 56.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E.grandis*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
3	58.3	3.2	19.5	91.7
5	58.3	3.3	17.4	90.7
6	58.3	3.3	16.7	90.6
7	58.3	3.3	18.2	91.2
8	58.3	3.2	21.8	89.8
16	58.3	3.3	20.1	91.6
17	58.3	3.2	19.5	90.9

diferencias significativas entre orígenes para todas las variables evaluadas. Los orígenes de mayor densidad básica son el 16 "H.S.C. Harbour", 6 "Near C. Harbour", 5 "15 km. N.C Harbour" y 8 "Near C. Harbour" con valores de 0.470, 0.466, 0.463 y 0.462 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. La variación de los datos de densidad prácticamente no tiene ninguna relación con los requerimientos de álcali activo ni con el rendimiento en pulpa. Los valores de consumo de madera, si bien son similares entre materiales, están asociados a la variación de la densidad básica de modo que los orígenes con los valores más bajos son el 16 "H.S.C. Harbour", 6 "Near C. Harbour" y 5 "15 km. N.C Harbour" con 4.1 y 4.2 m<sup>3</sup>/ton.cel. En cuanto a la eficiencia de los diferentes materiales medida en términos de productividad y generación de sólidos por ton. de celulosa se destacan los orígenes 16 "H.S.C. Harbour" y 6 "Near C. Harbour" con 101 - 92.3 ton/há y 1.7 - 1.8 tss/tcel., respectivamente. Al igual que en el ensayo citado anteriormente, en general se observa una importante variación en la mayoría de las propiedades evaluadas a pesar de que el área de procedencia de los materiales es relativamente reducida.

Los resultados del blanqueo presentados en el cuadro 56 muestran que todos los orígenes tienen un comportamiento similar medido en términos de consumo de cloro y grado de blanco obtenido. Los valores de viscosidad obtenidos son altos en todos los casos mostrando un buen grado de preservación de las fibras.

En promedio los resultados del pulpeo determinados en este ensayo son algo diferentes a los reportados por Backman y Garcia de León (2003), en cuanto a la densidad básica, rendimiento y consumo de madera determinados en un ensayo de especies en esta zona y en condiciones similares de análisis (0.451 vs 0.498 g/cm<sup>3</sup>, 51.5 vs 47.9 % y 4.3 vs 3.9 m<sup>3</sup>/ton.cel., respectivamente). El comportamiento observado en ambos casos probablemente este asociado a las diferencias en los valores de la densidad de la madera. Por otro lado, los resultados del blanqueo obtenidos en este ensayo, son similares a los citados por los referidos autores.

En el cuadro 57 se presentan los resultados de la capacidad de refino y las resistencias mecánicas de las pulpas de los orígenes evaluados. Todos los materiales tienen un

**Cuadro 57.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E.grandis*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
3	2250	25	77.3	5.6	9.7
5	2300	25	81.0	6.2	10.5
6	2300	24	71.8	6.0	10.5
7	2250	23	67.7	5.4	11.2
8	2300	25	79.1	6.0	10.4
16	2350	23	74.8	5.9	11.0
17	2250	24	76.0	5.9	10.9

comportamiento similar en relación a los parámetros medidos. Los valores muestran la misma tendencia a la observada en el ensayo anterior en el sentido de la existencia de una relación positiva entre la densidad de la madera y los niveles de refinado necesarios para alcanzar un valor próximo a 25 °SR. En este caso solo la resistencia al estallido mostró una relación positiva con la densidad básica.

• **Ensayo en Montevideo Chico (Tacuarembó) - E 23**

En el cuadro 58 son presentados los valores de crecimiento y proporción de corteza al décimo año de evaluación para los orígenes de *E. grandis*. El análisis de varianza detecta diferencias significativas entre orígenes solo para la variable proporción de corteza. Los orígenes de mayor crecimiento son el 10 "Near C. Harbour" y 3 "NW C. Harbour" con valores de

IMA sin corteza de 59.9 y 55.8 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. El origen de peor comportamiento es el 5 "15 km. N.C Harbour" con un valor de 37.9 m<sup>3</sup>/ha/año. A pesar de la similitud de los datos obtenidos se observa que los orígenes 16 "H.S.C Harbour", 10 "Near C. Harbour", 3 "NW C. Harbour" y 17 "NW C. Harbour" son los que presentan los valores más bajos de porcentaje de corteza con 11.6, 12.2, 12.8 y 12.8% respectivamente.

El análisis de los resultados del pulpeo muestra que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 59). El menor valor de álcali corresponde al origen 5 "15 km. N.C Harbour" con 15.8%. Los mayores requerimientos son de los orígenes 3 "NW C. Harbour", 10 "Near C. Harbour" y 7 "Near C. Harbour" con valores de 17.6, 17.4 y 17.2%, respectivamente. En relación al rendimiento se observa que la variación de este

**Cuadro 58.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. grandis*

Código	Origen	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
3	NW C. Harbour	558 a	55.8	12.8bc
5	15 km. N.C Harbour	379 a	37.9	13.4abc
6	Near C. Harbour	407 a	40.7	14.0a
7	Near C. Harbour	437 a	43.7	12.8bc
10	Near C. Harbour	599 a	59.9	12.2c
16	H.S.C Harbour	487 a	48.7	11.6c
17	Wedding Bells SF	486 a	48.6	13.1ab

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 59.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
3	17.6 <sup>a</sup>	51.7 <sup>b</sup>	18.0	0.0a
5	15.8 <sup>c</sup>	52.8 <sup>a</sup>	17.9	0.0a
6	16.8 <sup>ab</sup>	51.1 <sup>b</sup>	17.3	0.0a
7	17.2 <sup>ab</sup>	50.8 <sup>b</sup>	18.0	0.0a
10	17.4 <sup>ab</sup>	50.7 <sup>b</sup>	18.7	0.0a
16	16.6 <sup>c</sup>	50.8 <sup>b</sup>	18.4	0.0a
17	16.9 <sup>b</sup>	51.7 <sup>b</sup>	18.0	0.0a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

parámetro esta asociada en forma negativa con los requerimientos de álcali. El origen de mayor rendimiento es el 5 "15 km. N.C Harbour" (52.8%) seguido por un grupo de materiales cuyos rendimientos son muy similares variando de 51.1 a 51.7% (orígenes 6 "Near C. Harbour", 3 "Near C. Harbour" y 17 "Wedding Bells SF"). Los rechazos son iguales para todos los casos.

El análisis de los datos de densidad básica, consumo de madera y tenor de sólidos por tonelada de celulosa producida indica que existen diferencias significativas entre orígenes para las dos primeras de las variables mencionadas (Cuadro 60). Se destacan los orígenes 17 "Wedding Bells SF" y 5 "15 km. N.C Harbour" con valores de 0.429 y 0.424 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. En este caso a diferencia de los dos ensayos citados anteriormente se observa que existe una relación negativa entre los valores de densidad y requerimien-

tos de álcali. Los valores de consumo de madera son el reflejo de la variación observada en la densidad básica destacándose los orígenes 17 "Wedding Bells SF" y 5 "15 km. N.C Harbour" con el valor más bajo (4.5 m<sup>3</sup>/ton.cel.). La productividad de los materiales evaluados esta determinada por las diferencias observadas en el crecimiento mostrando que los orígenes de mejor performance son el 10 "Near C. Harbour" y 3 "NW C. Harbour" con valores de 123.4 y 114.4 ton.cel/há. Los valores de sólidos por ton. de celulosa son muy parecidos para todos los orígenes. Como en los sitios anteriores, también se observa que los materiales tienen diferentes aptitudes para la producción de celulosa no obstante provenir de regiones poco distantes entre sí.

En el cuadro 61 son presentados los resultados del blanqueo de los orígenes evaluados en este sitio. Se observa que todos los materiales tienen altos valores de viscosidad,

**Cuadro 60.** Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
3	0.398ab	4.8ab	114.4	1.8 <sup>a</sup>
5	0.424 <sup>a</sup>	4.5b	85.4	1.7 <sup>a</sup>
6	0.408ab	4.8ab	84.2	1.9 <sup>a</sup>
7	0.388b	5.1 <sup>a</sup>	89.1	1.9 <sup>a</sup>
10	0.400ab	4.9 <sup>a</sup>	123.4	1.9 <sup>a</sup>
16	0.409ab	4.8ab	103.7	1.9 <sup>a</sup>
17	0.429 <sup>a</sup>	4.5b	106.6	1.8 <sup>a</sup>

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 61.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
3	58.3	3.2	19.3	91.0
5	58.3	3.5	18.8	91.9
6	58.3	3.4	19.8	91.2
7	58.3	3.3	20.1	90.8
10	58.3	3.1	19.3	90.4
16	58.3	3.2	17.0	90.9
17	58.3	3.3	19.2	91.2

**Cuadro 62.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
3	2000	26	77.3	6.6	10.0
5	2050	25	74.9	5.6	10.8
6	2000	25	85.9	6.7	10.4
7	1950	24	81.2	6.2	9.8
10	2050	25	85.2	6.6	10.1
16	2050	25	78.5	6.1	9.9
17	2100	23	74.1	6.0	10.4

blancura e iguales consumos de cloro activo por ton. de celulosa blanqueada. En este caso, los valores de requerimientos de cloro de los orígenes 5 "15 km. N.C Harbour" y 6 "Near C. Harbour" son los más altos debido a que partieron de valores de Kappa más bajos (3.5 y 3.4 Kg cloro activo/D Kappa vs 17.9 y 17.3, respectivamente).

En cuando a las propiedades mecánicas de las pulpas, a diferencia de lo observado en los dos sitios anteriores, los resultados obtenidos en este caso muestran que la densidad de la madera es un buen indicador del comportamiento de los valores de resistencia de las pulpas obtenidas durante el refino (Cuadro 62). Los valores indican la existencia de una relación positiva de la densidad con la resistencia al rasgado al contrario de lo que ocurre con las resistencias a la tracción y al estallido.

Considerando todos los sitios en general se observa que los valores de las propiedades de resistencias obtenidos son semejantes para todos los materiales evaluados y que los mismos se encuentran dentro de lo esperado para

la especie (Backman y García de León, 2003; van Wyk y Gerischer, G, 1994; Doldán, com pers.)

#### *Análisis del efecto sitio - E21 vs E 22 vs E 23*

Evaluando el efecto del sitio sobre el comportamiento de los 4 orígenes comunes en los tres ensayos vemos que el análisis de varianza detecta que existen diferencias significativas entre sitios para las variables densidad básica y consumo de madera (Cuadro 63). En promedio, los orígenes instalados en la zona 9 tienen una densidad mayor y un menor consumo de madera que en las zonas 7 y 8. Por otro lado, considerando los crecimientos, la zona 7 es la de mayor producción de pulpa por há. Los valores de requerimientos de álcali y rendimiento en pulpa fueron casi iguales en los tres sitios evaluados. A diferencia de lo observado para *E. globulus* el efecto del sitio sobre la densidad básica no determinó que existieran diferencias en los parámetros del pulpeo.

**Cuadro 63.** Resultados del pulpeo y productividad de los orígenes comunes (4) instalados en Tacuarembó (zona 7), Tres Bocas (zona 9) y Mdeo. Chico (zona 8)

	A.A. (% p.s)	Rend. Dep. (%)	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo (m <sup>3</sup> /ton)	Prod. Pulpa (ton/há)
Zona 7	17.2 <sup>a</sup>	51.9 <sup>a</sup>	0.415b	4.7 <sup>a</sup>	108.5
Zona 8	17.1 <sup>a</sup>	51.3 <sup>a</sup>	0.406b	4.8 <sup>a</sup>	98.6
Zona 9	17.3 <sup>a</sup>	51.6 <sup>a</sup>	0.432 <sup>a</sup>	4.5b	73.7

**Análisis de la interacción genotipo - ambiente**

El análisis con los orígenes comunes a los tres ensayos no detectó un nivel de interacción significativa entre el genotipo y el sitio para ninguna de las variables evaluadas: densidad básica, requerimientos de álcali, rendimiento en

pulpa y consumo de madera (Figuras 29, 30, 31, 32 y 33).

No obstante esto, evaluando el comportamiento de los diferentes materiales en cada uno de los sitios se observa que el origen 6 "Near C. Harbour" presenta los mayores valores de densidad básica, bajos requerimientos de álcali y

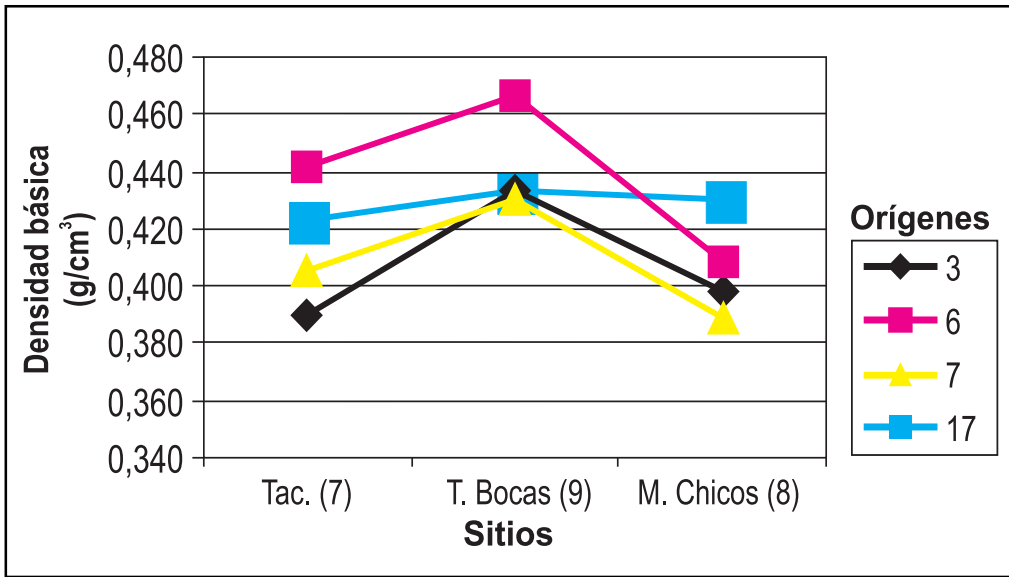


Figura 29. Densidad básica de los orígenes de *E. grandis* comunes a los tres sitios

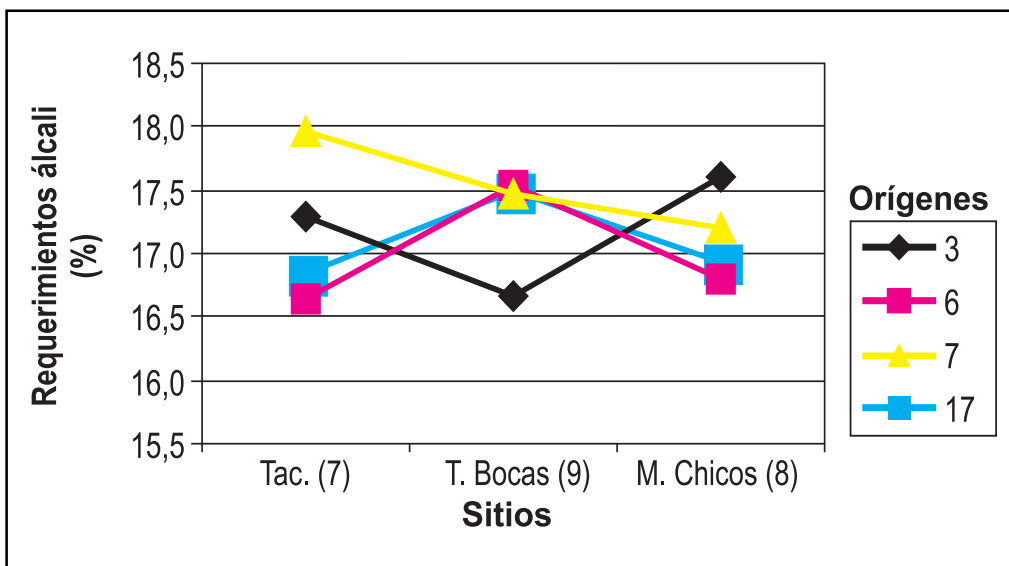


Figura 30. Requerimientos de álcali durante el pulpeo de los orígenes de *E. grandis* comunes en los tres sitios

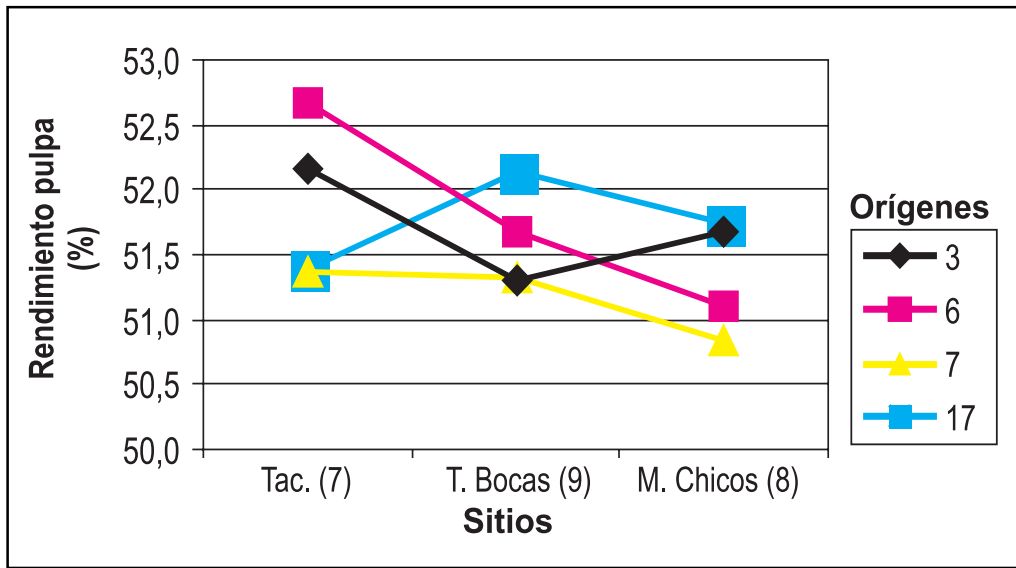


Figura 31. Rendimiento en pulpa de los orígenes de *E. grandis* comunes en los tres sitios

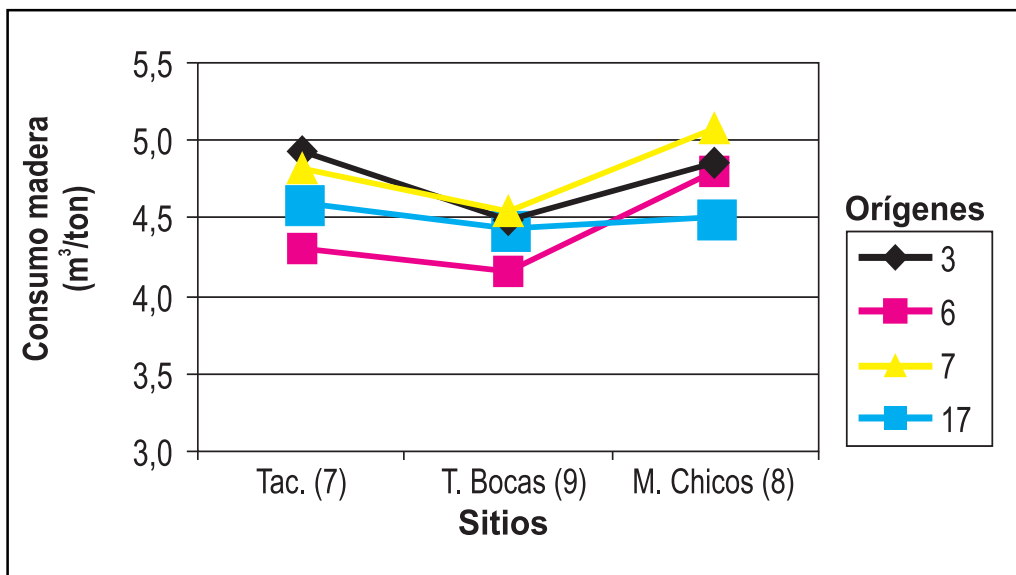


Figura 32. Consumo de madera de los orígenes de *E. grandis* comunes en los tres sitios

consumo de madera. Por otro lado, el origen 7 "Near C. Harbour" muestra un resultado contrastante en el sentido de que en general presenta bajos valores de densidad, altos requerimientos de álcali, bajos rendimientos y altos consumos de madera.

A pesar de que no fue analizado el efecto del sitio y la interacción genotipo ambiente sobre los parámetros del blanqueo los resultados obtenidos son relativamente similares en todos

los casos indicando que el comportamiento de los diferentes orígenes es prácticamente el mismo en cada una de las zonas evaluadas (Figura 34).

Nuevamente se destaca la importancia de la elección de la fuente de semilla ya que materiales provenientes de la misma región muestran resultados diferentes desde el punto de vista del pulpeo.



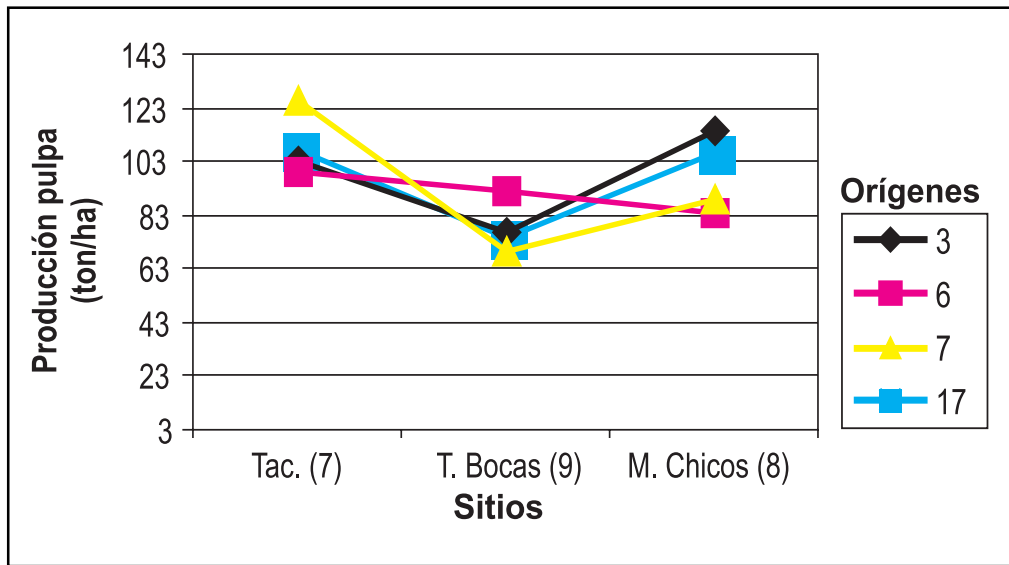


Figura 33. Producción de pulpa de los orígenes de *E. grandis* comunes en los tres sitios

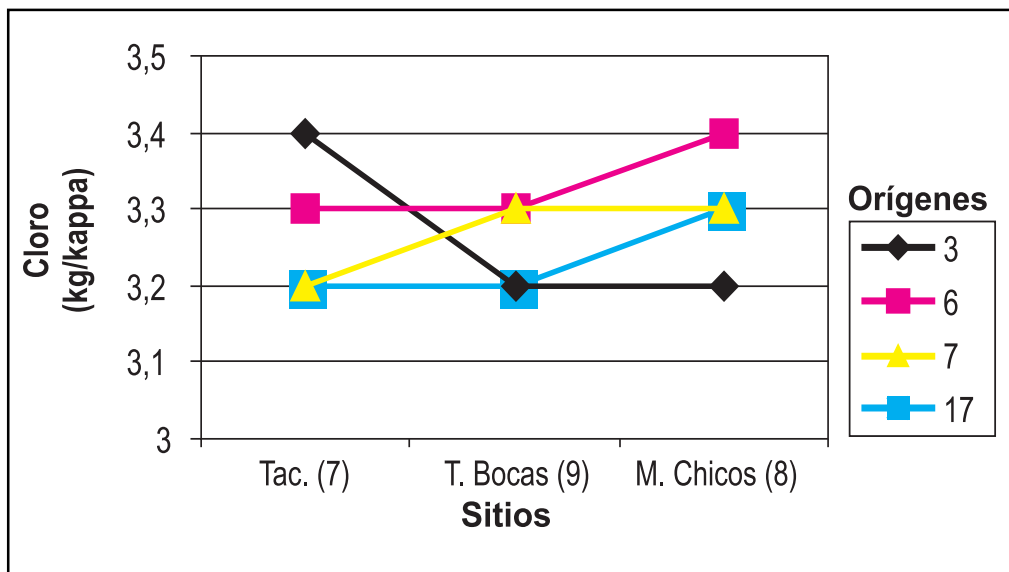


Figura 34. Requerimientos de cloro activo para obtener 90% de blancura con los orígenes de *E. grandis* comunes en los dos sitios

**c.2) Relaciones entre la densidad de la madera y los parámetros del pulpeo**

Analizando en forma conjunta los resultados obtenidos con los orígenes en los tres sitios se observa (para las condiciones de estos ensayos) que:

- Los valores de densidad de la madera y los requerimientos de álcali no muestran ninguna relación definida. La variación observada en los requerimientos de reactivos durante la cocción probablemente este determinada por diferencias

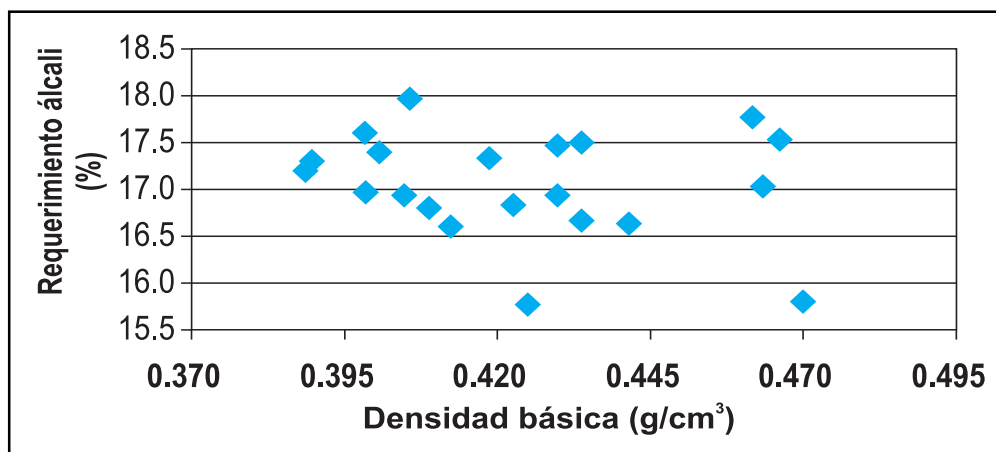


Figura 35. Relación entre los valores de densidad básica y requerimientos de álcali para todos los orígenes de *E. grandis* evaluados.

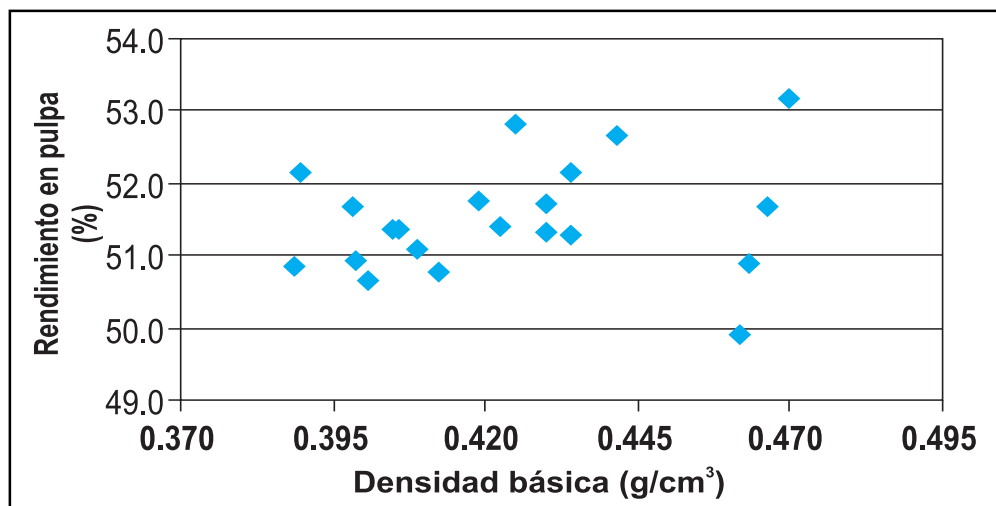


Figura 36. Relación entre los valores de densidad básica y rendimiento en pulpa para todos los orígenes de *E. grandis* evaluados.

en la composición química de la madera de los materiales evaluados (Figura 35).

- Los valores de densidad y el rendimiento son independientes probablemente por razones similares a las mencionadas en el párrafo anterior (Figura 36).
- Existe una relación negativa entre la densidad y el consumo de madera por razones similares a las comentadas para el caso de *E. globulus* y *E. maidenii*. (Figura 37).

De acuerdo a los resultados obtenidos con esta especie, en términos generales puede afirmarse que es posible seleccionar materiales

genéticos de *E. grandis* de alta densidad básica, altos rendimientos, bajos requerimientos de reactivos y bajos consumos de madera como fuentes de materia prima para la industria. Este es el caso de los orígenes 16 "H.S.C.Harbour", 6 "Near Coff Harbour", 5 "15 Km Near Coff Harbour" y 8 "Near Coff Harbour".

Los valores obtenidos con todos los materiales evaluados muestran que la densidad varío de 0.389 a 0.470 g/cm<sup>3</sup>, el rendimiento en pulpa de 49.9 a 53.2%, el consumo de madera de 4.1 a 5.1 m<sup>3</sup>/ton.cel. y los requerimientos de álcali de 15.8 a 18%.

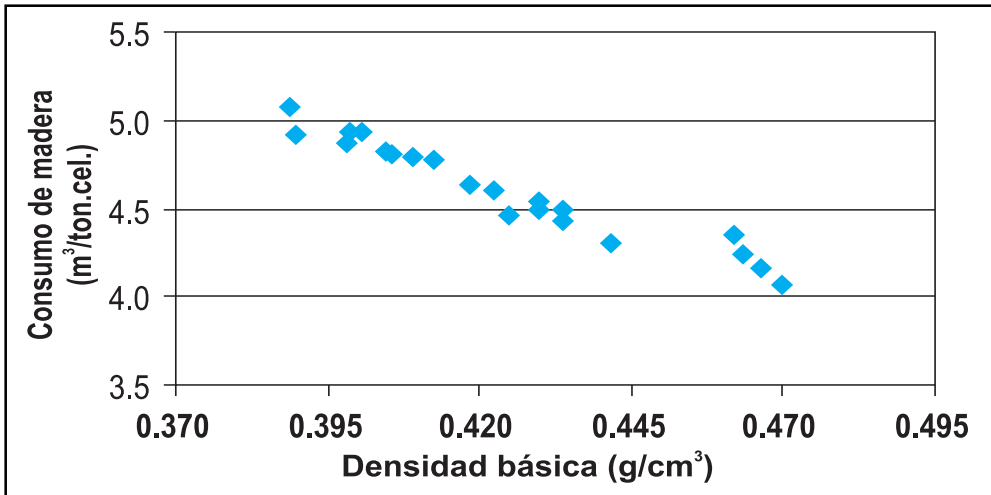


Figura 37. Relación entre los valores de densidad básica y consumo de madera para todos los orígenes de *E. grandis* evaluados.

Desde el punto de vista de la blanqueabilidad se observa una tendencia muy similar a la obtenida con *E. globulus* y *E. maidenii* en el sentido que los requerimientos de Kg de cloro activo por ton. de celulosa es el mismo para todos los orígenes evaluados. También sucede que los requerimientos de cloro activo por unidad que se baja el índice kappa presentan una menor variación que la determinada para *E. globulus* y *E. maidenii* debido a que se partió de IK relativamente próximos. En este caso los valores de requerimientos de cloro son superiores a los registrados para las otras especies variando de 3.1 a 3.4 kg/DKappa para todos los orígenes evaluados.

**c.3) Efecto de la carga de álcali activo sobre el pulpeo y blanqueo**

Analizando el efecto de la carga de álcali sobre los parámetros del pulpeo se observa que (a diferencia de lo observado con *E. globulus* y *E. maidenii*) no existe relación entre esta variable con el rendimiento en pulpa y la viscosidad de la misma (Figura 38). Esta tendencia no concuerda con la reportada por Gomide et.al, (2000); Dias y Correa, (1980); Gomide y Colodette, (1983), en evaluaciones realizadas con esta especie, los cuales citan la existencia de una estrecha relación negativa entre éstos parámetros. Esto puede estar

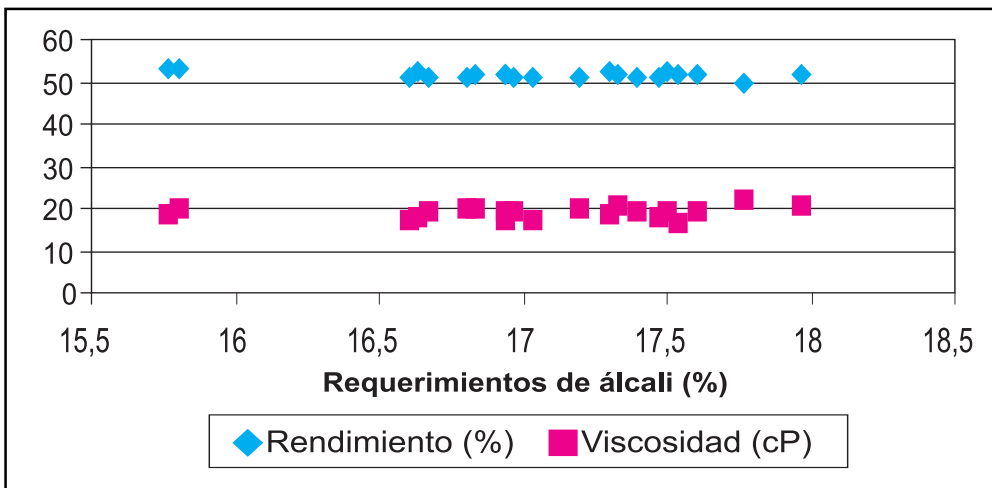


Figura 38. Relación entre el requerimiento de álcali activo, rendimiento y viscosidad de la pulpa para los orígenes de *E. grandis* en los tres sitios.

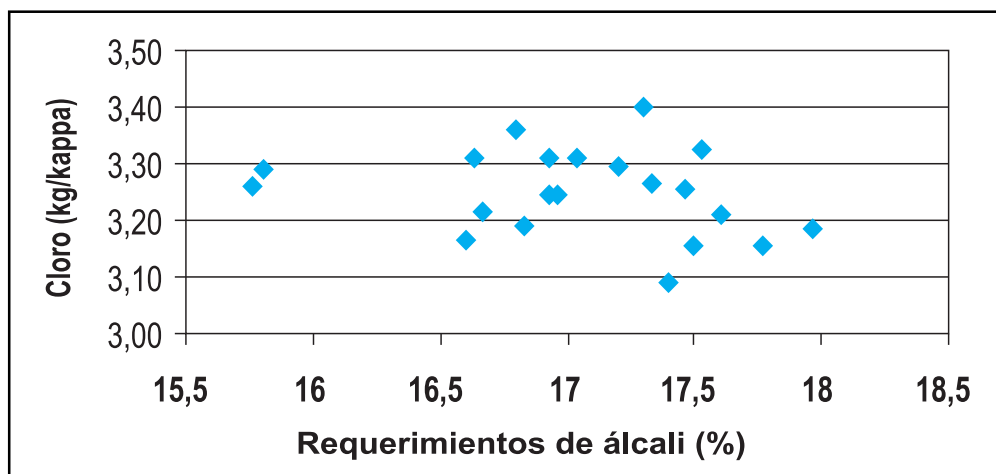


Figura 39. Relación entre el requerimiento de álcali activo y cloro activo para obtener 90% de blancura para los orígenes de *E. grandis* en los tres sitios.

explicado por el reducido rango de valores de álcali aplicados en este caso los cuales varían de casi 16 a 18%. Los valores de viscosidad obtenidos son altos en todos los casos.

Analizando los resultados del blanqueo de todos los orígenes evaluados vemos que no existe ninguna relación entre los niveles de álcali activo utilizado durante el pulpeo y los requerimientos de cloro para obtener grados de blanco próximos a 90% ISO (Figura 39). La variación observada en los valores de requerimientos de cloro activo/κ para los diferentes orígenes se debe al contenido de lignina residual que tenían las pulpas antes de la secuencia de blanqueo y no a diferencias inherentes a los materiales genéticos.

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por los autores antes mencionados los cuales observaron que el uso de mayores cargas de álcali durante el pulpeo se traduce en

menores requerimientos de cloro para obtener estos niveles de blancura en la pulpa. Cabe señalar que la literatura consultada se refiere a rangos de concentraciones de álcali más amplios que los evaluados en este ensayo.

• **Ensayo en Buena Unión (Rivera) - E 87**

La evaluación de crecimiento de las diferentes fuentes de semilla comerciales muestra que los materiales de mejor performance provienen de los Huertos Semilleros de FOSA y del INIA con valores estimados de IMA sin corteza de 45.2 y 44.1 m<sup>3</sup>/ha/año al 5to año de evaluación, respectivamente (Cuadro 64). Los valores de proporción de corteza en volumen son prácticamente iguales para todos los casos.

Del análisis de los resultados del pulpeo surge que existen diferencias significativas entre

Cuadro 64. Valores de crecimiento y proporción de corteza de las fuentes de semilla comercial de *E. grandis*

Código	Origen	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
FO	Huerto semillero de Forestal Oriental	225.9	45.2	12.2 a
I	Huerto semillero INIA	220.3	44.1	12.2 a
MO	Huerto semillero de 2da gen. de MONDI - Sudáfrica	214.5	42.9	12.0 a
CB	Área de colecta de semilla - Caja Bancaria	205.5	41.1	12.5 a
BM	Huerto semillero de Fac. de Agr. Bañado de Medina	188.4	37.7	12.9 a
AU	Tan Ban NSW - Australia	164.0	32.8	14.1 a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 65.** Resultados del pulpeo de las fuentes de semilla de *E. grandis*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
FO	18.1ab	50.1 a	18.5	0.0
I	18.7 a	49.1 a	18.3	0.0
MO	17.6 bc	50.0 a	18.2	0.0
CB	17.7 bc	50.3 a	18.0	0.0
BM	17.2 c	49.8 a	18.5	0.0
AU	18.6 a	49.5 a	18.0	0.0

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

orígenes solo para la variable requerimientos de álcali de activo (Cuadro 65). De todos modos, al igual que con el rendimiento depurado, los valores o de requerimiento de álcali son semejantes para todas las fuentes de semilla evaluadas. Los valores de rendimiento son algo inferiores a los obtenidos en los ensayos anteriormente citados lo cual podría deberse a la corta edad de estos materiales (5 años). Resultados obtenidos por algunos autores muestran que se produce una disminución del contenido de lignina y un aumento de la densidad básica con el incremento de la edad de los árboles, lo cual estaría incidiendo sobre el rendimiento en pulpa. (Alencar, 2002; Backman y García de Leon, 2003). Los valores de rechazo son prácticamente cero en todos los casos.

Los resultados del análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre fuentes de semilla solo para la densidad básica (Cuadro 66). Los materiales de mayor densidad son los provenientes del huerto semillero de Bañado de Medina (Fac. de Agr.) y de la región de Tan Ban (Australia) con 0.392,

g/cm<sup>3</sup>. Comparativamente, los valores más bajos corresponden a los materiales de INIA y de la empresa Mondi (Sudáfrica) con valores de 0.368 y 0.367 gr/cm<sup>3</sup>, respectivamente. En cuanto al consumo de madera, si bien todos los registros son muy parecidos, se observa que estos dos materiales muestran los valores más altos (5.5 m<sup>3</sup>/ton. de cel.) explicados por la baja densidad de la madera. Considerando en forma conjunta la densidad, el rendimiento y el crecimiento se observa que el material proveniente del huerto semillero de FOSA es el de mayor productividad de pulpa por hectárea con un valor de casi 44 toneladas por hectárea. Los materiales de INIA, Mondi y del área de coleta de la Caja Bancaria tienen un nivel algo inferior con valores próximos a 40 ton. por hectárea. Los de peor comportamiento relativos son los provenientes de Bañado de Medina y Australia. Los valores de tenores de sólidos son prácticamente idénticos para todos los casos.

Los resultados del blanqueo, presentados en el cuadro 67, muestran que todas las fuentes de semilla tienen la misma respuesta frente a

**Cuadro 66.** Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de las fuentes de semilla de *E. grandis*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
FO	0.389 ab	5.2 a	43.6	2.0 a
I	0.368 b	5.5 a	40.0	2.1 a
MO	0.367 b	5.5 a	39.3	2.0 a
CB	0.388 ab	5.1 a	40.2	2.0 a
BM	0.392 a	5.1 a	36.8	2.0 a
AU	0.392 a	5.2 a	31.7	2.1 a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 67.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de las fuentes de semilla de *E. grandis*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
FO	58.3	3.1	20.1	90.1
I	58.3	3.2	17.5	91.8
MO	58.3	3.2	18.2	89.8
CB	58.3	3.2	20.2	90.3
BM	58.3	3.1	20.5	89.6
AU	58.3	3.2	19.8	90.9

**Cuadro 68.** Resultados de propiedades mecánicas de las fuentes de semilla de *E. grandis*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
FO	850	25	75.2	5.9	9.0
I	800	26	72.1	6.3	8.8
MO	800	26	61.8	6.1	8.5
CB	750	23	71.5	5.7	9.3
BM	1200	27	73.7	6.7	8.6
AU	850	26	72.5	5.7	8.9

la secuencia de blanqueo utilizada. Todos los materiales evaluados tienen el mismo comportamiento en términos del consumo de cloro por ton. de celulosa y el grado de blanco obtenidos. Los valores de viscosidad son altos en todos los casos.

Los resultados del refinado y las propiedades mecánicas evaluadas son próximos a los obtenidos en los ensayos 21, 22 y 23 (Cuadro 68). Se destaca la pulpa proveniente de Bañado de Medina por presentar el mayor requerimiento de refinado asociado a la mayor densidad de la madera. Sin embargo la pulpa del origen australiano a pesar de provenir de una madera de igual densidad que el anteriormente citado tiene un requerimiento de energía sensiblemente inferior. Esto, podría estar determinado, por una mayor flexibilidad de las fibras y/o por una diferente composición química de la pulpa.

*Material comercial*

Los resultados de los parámetros del pulpeo y blanqueo del material comercial son presentados en el cuadro 69. Los valores obtenidos con esta fuente de semilla proveniente del Área de Colecta de Semilla de la Caja Bancaria es

ligeramente superior en cuanto a la densidad básica (0.442 g/cm<sup>3</sup>) comparada con los orígenes australianos evaluados en el ensayo instalado en la zona 8 (0.388 a 0.429 g/cm<sup>3</sup>). Por otro lado, los valores de requerimientos de álcali y el rendimiento en pulpa son similares a los obtenidos en el referido ensayo. El

**Cuadro 69.** Resultados del pulpeo, blanqueo y propiedades del papel del material evaluado

PARÁMETROS	
Db (g/cm <sup>3</sup> )	0.442
A.A. (% p.s.)	17.8
Índice Kappa	18.5
Rend. Dep. (%)	51.4
Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	4.4
ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	58.3
ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	3.2
Viscosidad (cP)	19.6
Grado de blanco (% ISO)	87.4
Numero de Revoluciones (rpm)	1850
Grado de Refino (°SR)	24
Índice de tracción (N.m/g)	75.9
Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	6.1
Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)	9.4

Fuente: Crosa y Quagliotti, 2004

mayor valor de densidad obtenido con este material determina que el consumo específico se algo inferior a los valores registrados con los materiales australianos 4.4 vs 4.5 a 5.1 m<sup>3</sup>/ton.cel).

La respuesta al blanqueo es idéntica a la obtenida con todos los orígenes evaluados. Por otro lado, a pesar de tener una densidad más alta, en este caso se observa que el número de revoluciones para obtener un °SR próximo a 25 es más bajo que lo determinado en los ensayos mencionados. Las propiedades de resistencias de la pulpa están dentro de lo esperado para la especie.

#### d) *Eucalyptus dunnii*

##### d.1) Caracterización de fuentes de semilla en zonas 7 y 8

- **Ensayo en Once Cerros (Tacuarembó) - E 83**

El análisis de los parámetros de crecimiento y el porcentaje de corteza indica que no existen diferencias significativas entre orígenes al 5to

año de evaluación (Cuadro 70). De todos modos, el material proveniente del área de Producción de semilla de la región de Concordia (Argentina), es el que alcanza el mayor crecimiento con un IMA estimado sin corteza de casi 28 m<sup>3</sup>/ha/año. El resto de los orígenes tienen valores muy similares tanto de crecimiento como de proporción de corteza.

El análisis de varianza de los resultados del pulpeo no detecta diferencias significativas entre orígenes para las variables medidas (Cuadro 71). Nuevamente, la tendencia de los datos muestra una relación negativa entre los valores de requerimientos de álcali activo y el rendimiento en pulpa. Estos resultados son algo diferentes a los obtenidos por Backman y García de León, 2003, en el sentido que los niveles de álcali activo son más altos y los valores de rendimiento más bajos que los reportados por estos autores. Estas diferencias podrían estar explicadas por la composición química de la madera de estos materiales. Los valores de rechazo son prácticamente cero en todos los casos.

El análisis de varianza de los resultados de la densidad, el consumo de madera y el tenor de sólidos por ton. de celulosa indica que no existen diferencias significativas entre orígenes para ninguna de las tres variables

**Cuadro 70.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. dunnii*

Código	Origen	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
I	Area de producción de semilla	138.2 a	27.6	20.2 a
13	Acacia CK NR Legume NSW	110.7 a	22.1	20.2 a
91	Yabbra Plains RD NSW	110.9 a	22.2	21.5 a
8	Moletton NSW	107.0 a	21.4	20.3 a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 71.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. dunnii*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
I	19.8 a	48.4 a	18.3	0.0
13	18.0 a	48.3 a	17.9	0.2
91	20.0 a	47.6 a	18.0	0.0
8	17.1 a	49.2 a	17.7	0.0

**Cuadro 72.** Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de los orígenes de *E. dunnii*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
I	0.479 a	4.3 a	32.3	2.2 a
13	0.465 a	4.4 a	25.1	2.2 a
91	0.473 a	4.4 a	26.2	2.3 a
8	0.494 a	4.1 a	27.0	2.1 a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

mencionadas (Cuadro 72). En este caso, como con *E. grandis* y *E. maidenii*, no se observa ninguna relación entre los valores de densidad básica con los requerimientos de álcali activo ni con el rendimiento en pulpa. En general, los valores de consumo son relativamente altos para esta especie comparados con los obtenidos por los autores antes citados, debido a la baja densidad y bajo rendimiento. También en este caso se observa una relación inversa entre los valores de densidad y el consumo de madera. Si consideramos el crecimiento junto a estos factores mencionados surge que el material proveniente del área de Producción de semilla es el de mayor productividad de pulpa con 32 ton/ha. Los tenores de sólidos muy similares para todos los materiales.

Desde el punto de vista del blanqueo se observa que todos los materiales tienen una bue-

na respuesta medida en términos del consumo de cloro y del grado de blanco alcanzado (Cuadro 73). Los valores de viscosidad son altos a excepción del origen 91 "Yabbra Plains RD" el cual esta asociado a altos niveles de álcali activo y bajo rendimiento. De todas maneras, este mayor deterioro de los carbohidratos presentes en la pared de las fibras no afectó las propiedades de resistencia (Cuadro 74).

Los resultados del refino muestran una baja relación positiva con los valores de densidad aunque esto puede deberse al bajo número de muestras consideradas en este caso. Los valores de las propiedades mecánicas de las pulpas son semejantes y relativamente bajos para todos los materiales. Esto último podría estar explicado por la corta edad de los árboles lo cual incide sobre las dimensiones de las fibras.

**Cuadro 73.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. dunnii*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
I	50.4	2.8	17.5	90.9
13	50.4	2.8	24.9	90.7
91	50.4	2.8	13.8	90.7
8	50.4	2.8	20.4	90.3

**Cuadro 74.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E. dunnii*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
I	2000	25	63.1	4.9	8.5
13	2000	25	72.8	5.9	8.9
91	2050	25	68.8	5.3	8.6
8	2050	24	66.8	5.4	8.5



• **Ensayo en El Carmen (Durazno) - E 84**

El análisis de varianza detecta diferencias significativas entre orígenes para las variables volumen acumulado por hectárea al 5to año de evaluación (Cuadro 75). Los materiales de mayor crecimiento son los orígenes 8 "Moletón" y del Área de Producción de Semilla con un IMA estimado sin corteza de 34.6 y 32.1 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente. Cabe destacar que dos orígenes provenientes de regiones muy próximas como el 8 y el 555 tienen valores de crecimiento sustancialmente diferentes (173.1 vs 98.2 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente). Los valores del porcentaje de corteza son muy similares para todos los materiales evaluados.

Los resultados del pulpeo son presentados en el cuadro 76. El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre orígenes solo para la variable requerimientos de álcali activo. Los mayores niveles corresponden a los orígenes 13 "Acacia CK NR Legume" y del Área de Producción de semilla con 26.5 y 25.8%, respectivamente. En promedio estos valores son sensiblemente más altos que los reportados por la literatura para esta especie

(Ferreira, et al., 1993; van Wyk y Gerischer, 1994; De Mello, Fernandez, 2000; Backman y García de Leon, 2003). Como consecuencia de las altas cargas de álcali usadas se obtuvieron en general muy bajos valores de rendimiento comparado con los obtenidos en el ensayo de Tacuarembó. A pesar de la similitud de los resultados de rendimiento en pulpa los orígenes 91 "Yabbra Plains RD" y 8 "Moletón" son los que presentan los valores más altos con 45.8 y 45.7%, respectivamente.

El análisis estadístico de los resultados presentados en el cuadro 77 muestra que no existen diferencias significativas entre materiales para ninguna de las variables analizadas. Los valores de rendimiento y requerimientos de álcali no muestran ninguna relación con la densidad de la madera. Al igual que con *E. grandis* y *E. maidenii* los resultados del pulpeo parecen estar influenciados en gran medida por algunos parámetros de la composición química de la madera como podrían ser la lignina y/o los extractivos. El material procedente del Área de Producción de semilla se destaca por presentar el mayor

**Cuadro 75.** Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. dunnii*

Código	Origen	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/a)	Corteza (%)
8	Moletón NSW	173.1 a	34.6	17.1 a
I	Area de producción de semilla	160.4 a	32.1	19.0 a
13	Acacia CK NR Legume NSW	146.1 ab	29.2	18.1 a
91	Yabbra Plains RD NSW	134.7 ab	26.9	16.7 a
555	Moletón Kangaroo SF NSW	98.2 b	19.6	8.9 a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

**Cuadro 76.** Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. dunnii*

Orígenes	A.A. (% p.s)	Índice kappa	Rend. Dep. (%)	Rechazo (%)
8	23.1 ab	45.7 a	19.4	0.3
I	25.8 a	42.9 a	19.0	0.2
13	26.5 a	44.4 a	18.0	0.1
91	21.1 b	45.8 a	17.7	0.1
555	23.0 ab	44.4 a	18.5	1.0

**Cuadro 77.** Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de los orígenes de *E. dunnii*

Orígenes	D.b. (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
8	0.480 a	4.6 a	37.8	2.6 a
I	0.469 a	5.0 a	31.3	3.1 a
13	0.480 a	4.7 a	30.9	2.9 a
91	0.476 a	4.6 a	28.5	2.6 a
555	0.469 a	4.8 a	20.5	2.8 a

Nota: Valores con igual letra no difieren significativamente por el test de Duncan al 5%

consumo de madera y el mayor valor de sólidos generados por tonelada de celulosa producida debido a la baja densidad y el bajo rendimiento. A diferencia de lo obtenido en el ensayo en Tacuarembó, no se observa ninguna relación definida entre los valores de densidad y el consumo de madera. Considerando todos estos factores junto al crecimiento surge que el material de mayor producción de pulpa es el origen 8 “Moleton” con casi 38 ton/ha. A excepción del origen 555 “Moleton Kangaroo SF”, que es el de peor comportamiento, el resto de los materiales alcanzan niveles similares que oscilan de 28.5 a 31.3 ton/ha.

Los resultados del blanqueo indican que todos los materiales son igualmente “blanqueables” alcanzando altos niveles de “blancura” (Cuadro 78). Los valores de visco-

sidad son sensiblemente más bajos que los obtenidos con todos los materiales citados anteriormente, debido a las altas cargas de reactivos usadas durante el pulpeo.

Los resultados presentados en el cuadro 79 muestran que la densidad de la madera no es un buen indicador de la capacidad de refino ni de las propiedades mecánicas de las pulpas obtenidas. En este caso, como fue mencionado anteriormente, las propiedades de resistencias de las fibras podrían estar determinadas por algunas propiedades de las mismas tales como la elasticidad y/o el contenido de hemicelulosas. A pesar de que los valores de viscosidad fueron relativamente bajos, no se observa un deterioro importante en las resistencias de las fibras de los materiales evaluados.

**Cuadro 78.** Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. dunnii*

Orígenes	ClO <sub>2</sub> (Kg/ton pulpa seca)	ClO <sub>2</sub> (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
8	50.4	2.6	8.0	92.2
I	50.4	2.7	7.7	91.8
13	50.4	2.8	8.8	92.1
91	50.4	2.8	10.7	90.1
555	50.4	2.7	8.6	91.9

**Cuadro 79.** Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E. dunnii*

Orígenes	Numero de Revoluciones	Grado de Refino (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de Estallido (kPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de Rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)
8	2000	25	66.8	5.1	7.9
I	2050	26	60.7	5.1	8.2
13	2000	25	65.8	4.7	8.3
91	2200	26	64.7	5.2	8.8
555	2000	27	68.3	5.4	8.3

• **Análisis del efecto sitio E 83 vs E 84**

Del análisis de varianza surge que existen diferencias entre sitios para las variables requerimientos de álcali, rendimiento en pulpa y consumo de madera (Cuadro 80). En promedio los orígenes instalados en la zona 8 presentan un mayor requerimiento de álcali, menor rendimiento y mayor consumo de madera que en la zona 7 (24.1 vs 18.7%, 44.7 vs 48.4% y 4.7 vs 4.3 m<sup>3</sup>/ton., respectivamente).

Contrariamente a lo ocurrido con las tres especies evaluadas anteriormente, el sitio no tiene un efecto visible sobre la densidad de la madera. De todos modos intervienen otros factores de la madera que inciden sobre los parámetros del pulpeo como podría ser la composición química de la misma. La diferencia en producción de pulpa en los dos sitios está determinada exclusivamente por las diferencias en los valores de crecimientos de los materiales evaluados.

**Cuadro 80.** Resultados del pulpeo y productividad de los orígenes comunes (4) instalados en Tacuarembó (zona 7) y EL Carmen (zona 8)

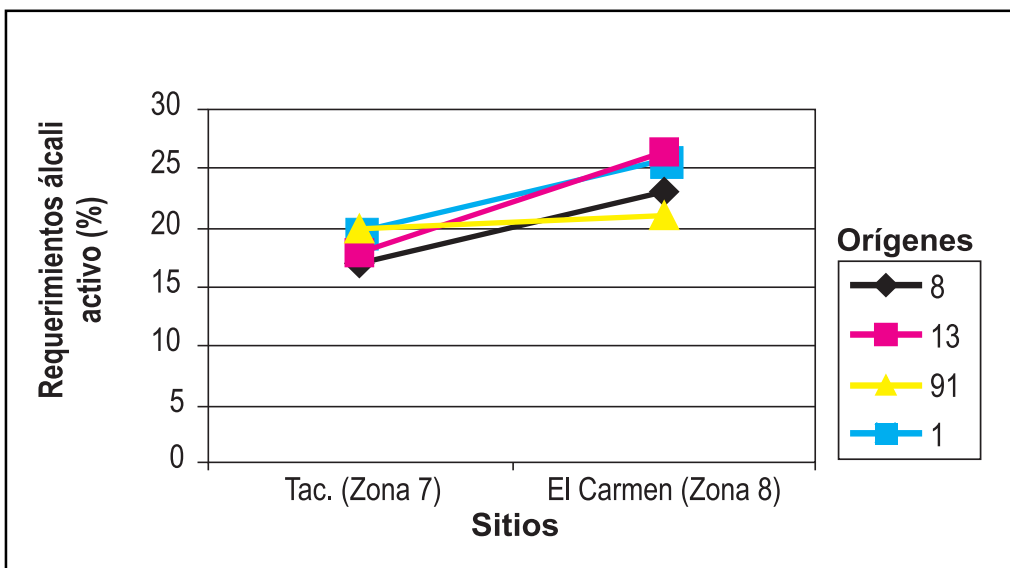
	A.A. (% p.s)	Rend. Dep. (%)	Db (g/cm <sup>3</sup> )	Consumo (m <sup>3</sup> /ton)	Prod. Pulpa (ton/há)
Zona 7	18.7 b	48.4 a	0.478 a	4.3 a	27.7
Zona 8	24.1 a	44.7 b	0.475 a	4.7 b	32.1

• **Análisis de la interacción genotipo - ambiente**

El análisis realizado con los 4 orígenes comunes en los ensayos de Tacuarembó y El Carmen muestra que no existe una interacción significativa para ninguna de las variables evaluadas. En promedio, el conjunto de orígenes evaluados responde de forma similar, con re-

lación a las variables mencionadas en los dos sitios. (Figuras 40, 41, 42, 43 y 44).

No obstante esto, analizando el comportamiento de los orígenes en los dos sitios se observa que en general el origen 8 “Moletón” tiene bajo requerimientos de álcali, alto rendimiento relativo, alta densidad, bajo consumo y alta productividad de pulpa.



**Figura 40.** Requerimientos de álcali activo de los orígenes de *E. dunnii* comunes a los dos sitios

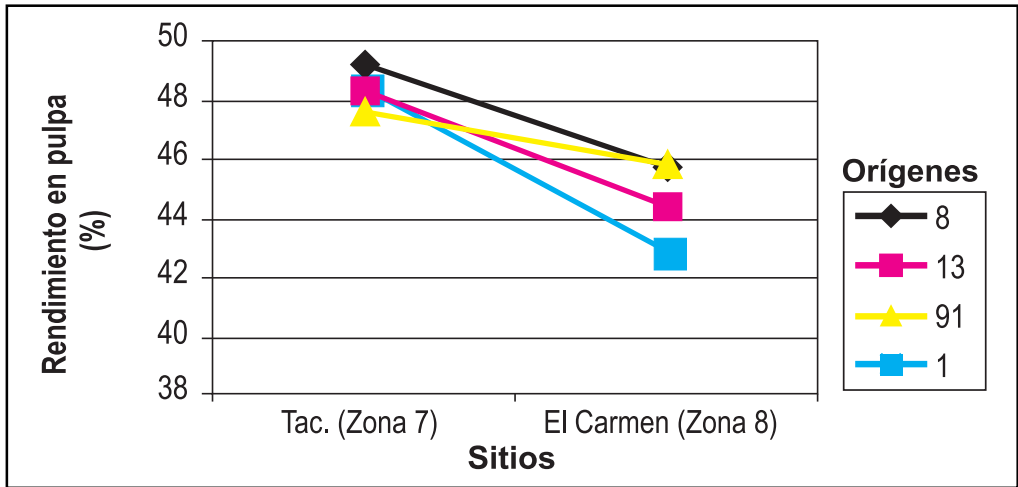


Figura 41. Rendimiento de los orígenes de *E. dunnii* comunes a los dos sitios

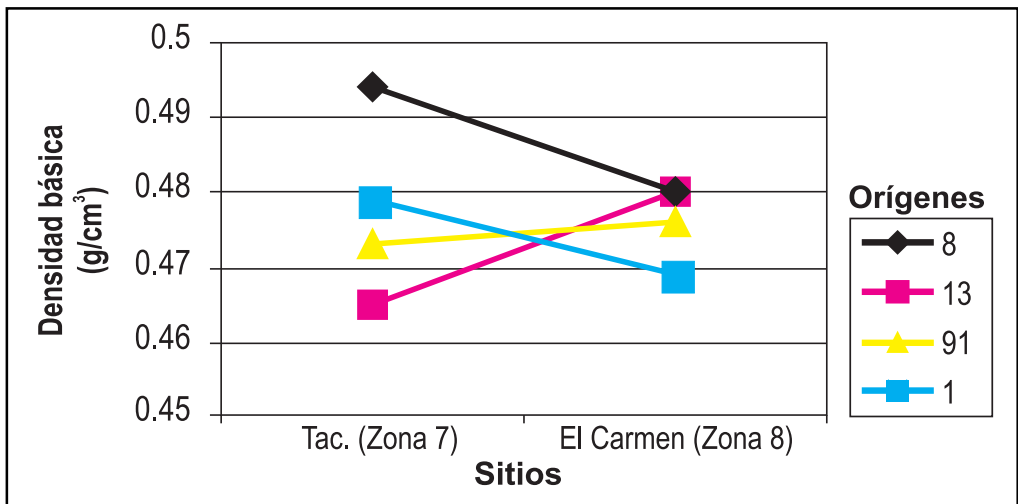


Figura 42. Densidad básica de los orígenes de *E. dunnii* comunes a los dos sitios

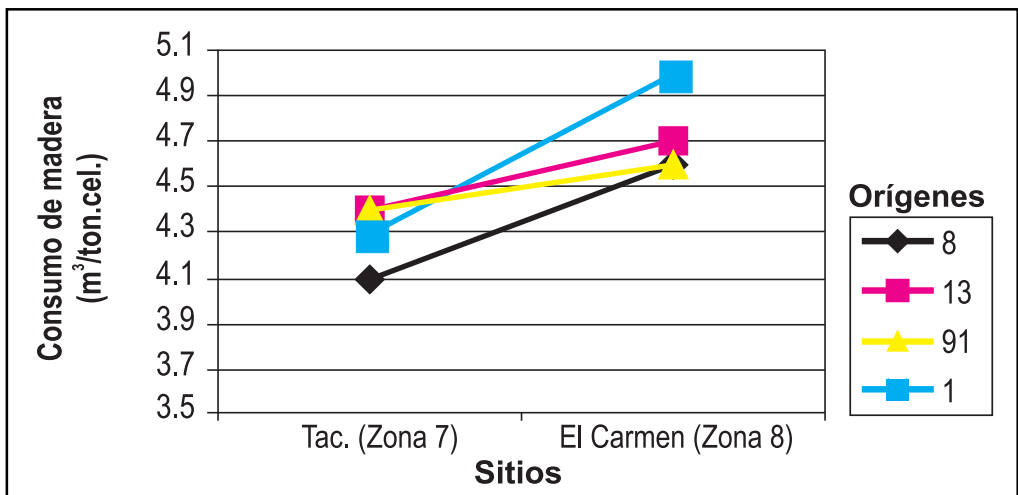


Figura 43. Consumo de madera de los orígenes de *E. dunnii* comunes a los dos sitios

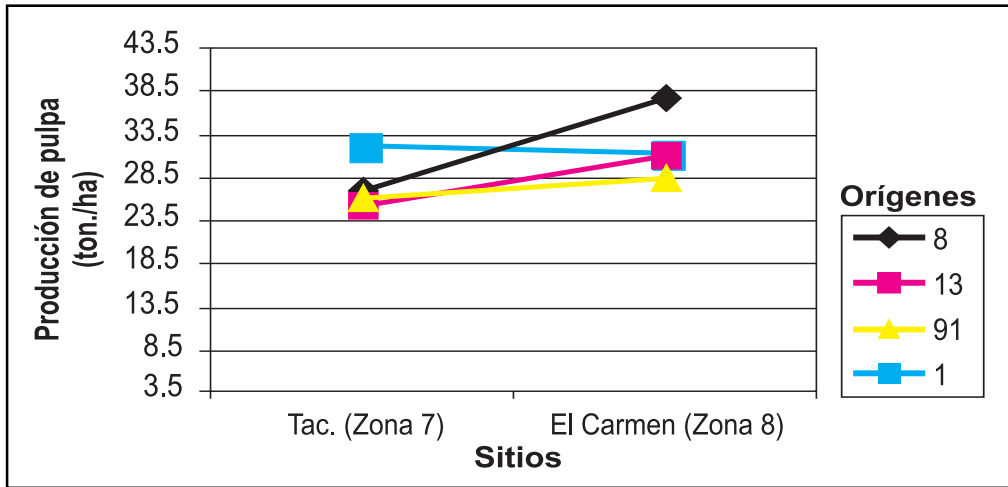


Figura 44. Producción de pulpa de los orígenes de *E. dunnii* comunes a los dos sitios

**d.2) Relaciones entre la densidad de la madera y los parámetros del pulpeo**

Analizando en forma conjunta los resultados obtenidos con los orígenes en los dos sitios se observa que (para las condiciones de estos ensayos) la densidad no muestra ninguna relación con los requerimientos de álcali, el rendimiento en pulpa y el consumo de madera (Figuras 45, 46 y 47). A diferencia de lo observado para las tres especies anteriormente evaluadas, en este caso los valores de densidad básica y de consumo de madera son relativamente independientes entre si.

Esta relativa independencia de los parámetros del pulpeo en relación la densidad básica implica que deben ser tenidos en cuenta otros aspectos de la madera de esta especie que podrían tener estrecha relación con la deslignificación como el contenido de lignina y extractivos. Por otro lado, en función de esto es posible identificar materiales genéticos que posean más de una característica de interés como el origen 8 de la región de “Moletón” que combina una alta densidad, alto rendimiento y por lo tanto bajo consumo de madera.

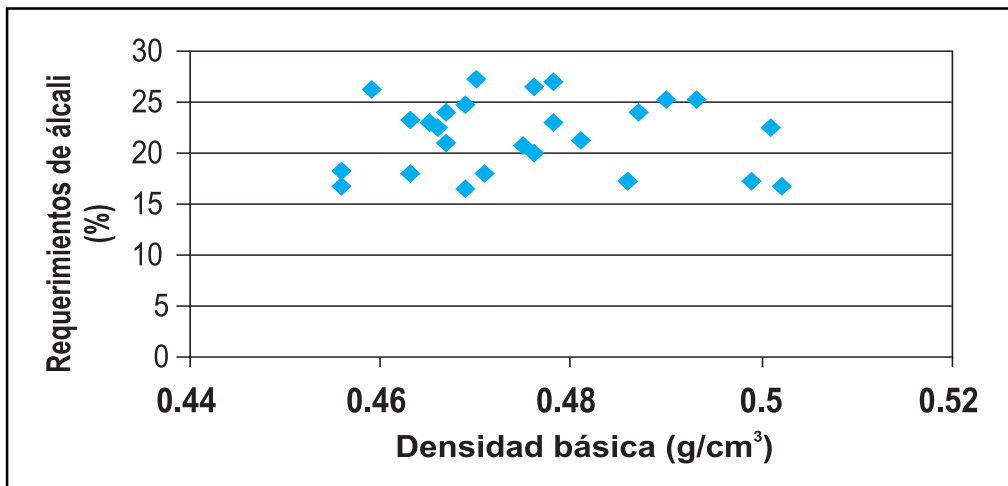


Figura 45. Valores de densidad básica vs. requerimientos de álcali activo de todos los orígenes de *E. dunnii* evaluados

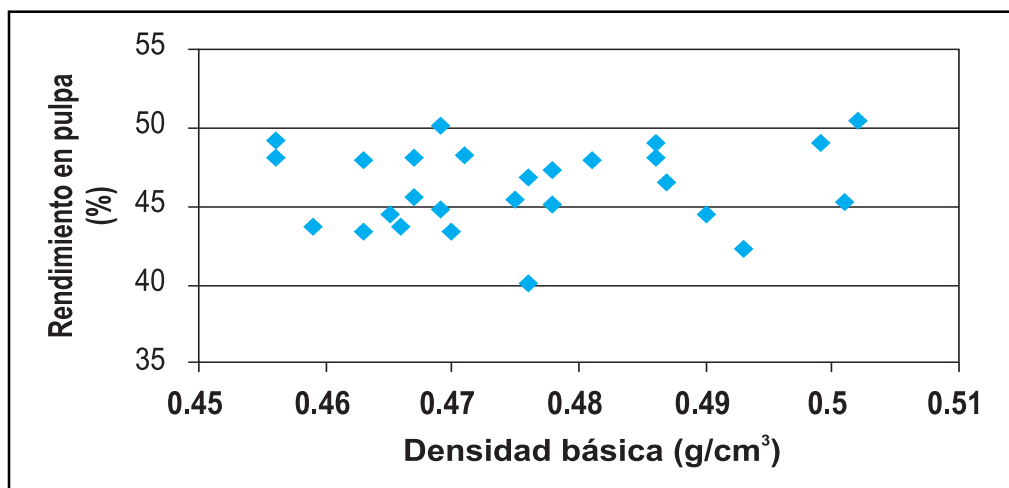


Figura 46. Valores de densidad básica vs. rendimiento en pulpa de todos los orígenes de *E. dunnii* evaluados

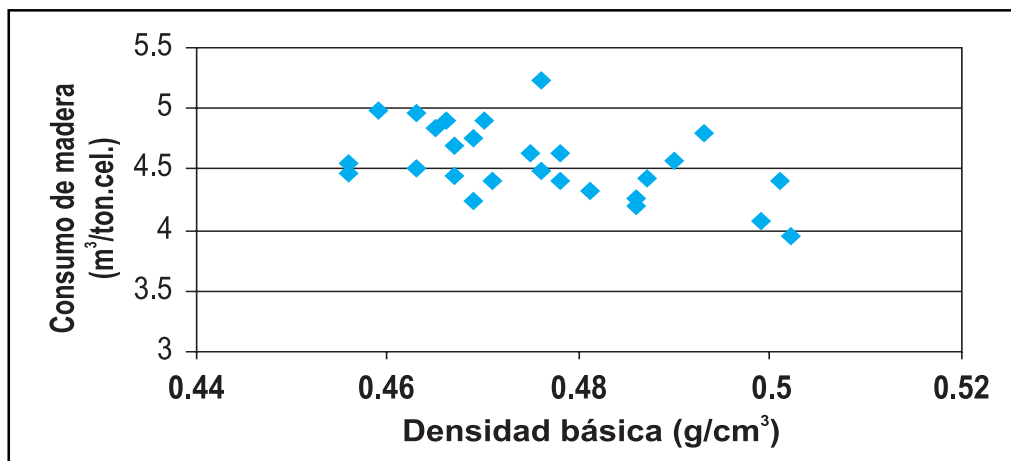


Figura 47. Valores de densidad básica vs. consumo de madera de todos los orígenes de *E. dunnii* evaluados

**d.3) Efecto de la carga de álcali sobre el pulpeo y el blanqueo**

De igual modo que lo ocurrido con *E. globulus* y *E. maidenii*, como era de esperar, se observa que existe una relación negativa entre esta variable con el rendimiento en pulpa y la viscosidad de la misma (Figura 48).

Para las condiciones de estos ensayos los resultados obtenidos muestran que es necesario la aplicación de niveles de álcali activo con un amplio rango que varían de 17 a 26.5%.

Esta variación está determinada fundamentalmente por la composición química de la madera. De los resultados obtenidos surge que es posible obtener valores de rendimiento en pulpa relativamente altos aplicando bajas cargas de álcali como es el caso del origen 8 de la región de Moletón. Por otro lado, si bien se observa un efecto negativo sobre la viscosidad, los valores obtenidos no son limitantes de las propiedades mecánicas de las pulpas como ya fue discutido en párrafos anteriores.

Analizando los resultados de todos los orígenes

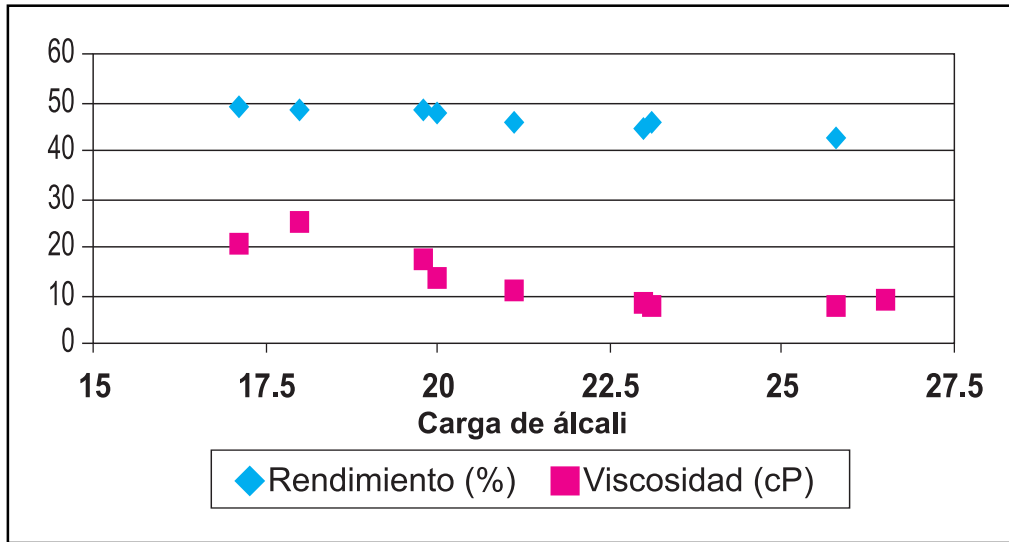


Figura 48. Carga de álcali vs. Rendimiento y viscosidad de la pulpa.

en cuanto a los efectos de la carga de álcali sobre los requerimientos de cloro se observa que no existe ninguna relación entre estos dos parámetros (Figura 49). Estas diferencias en los requerimientos de cloro, aunque pequeñas, están asociadas a los contenidos de lignina residual que tenían las pulpas antes de la secuencia de blanqueo (IK) a pesar de que se obtuvieron pulpas con un rango de  $18 \pm 1$  de este parámetro. Otro aspecto a tener en cuenta con el Índice kappa es que, de

acuerdo a algunos autores, además de ser un indicador del contenido de lignina residual también incluye los ácidos hexanurónicos presentes en la pulpa formados durante la cocción. Estos ácidos, además de consumir reactivos para determinar el IK, consumen reactivos durante el blanqueo y provocan la reversión de la blancura en la celulosa blanqueada (da Costa, Mounteer y Colodette, 2001; da Silva, Mounteer y Colodette, 2001; de Almeida y da Silva Junior, 2004).

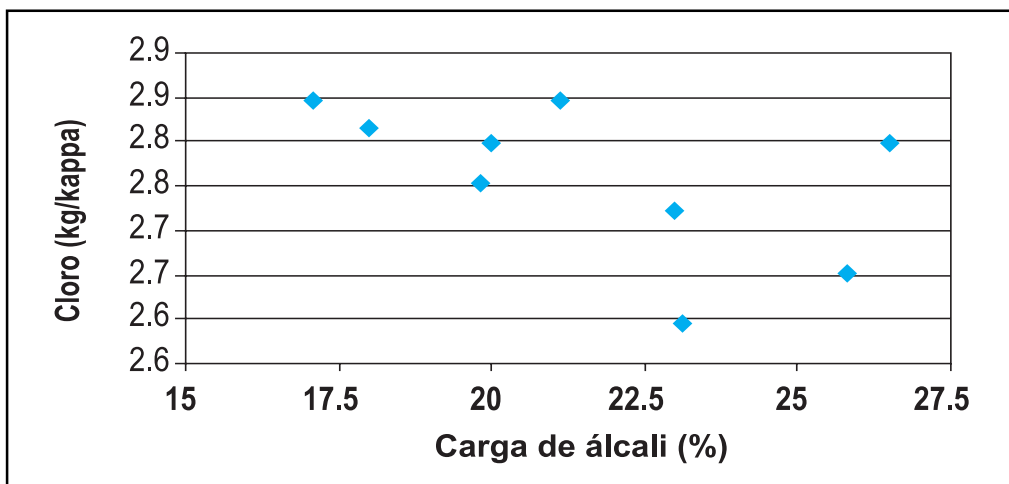


Figura 49. Carga de álcali vs. Requerimientos de cloro activo/D kappa

#### 4. ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD Y EL RENDIMIENTO MEDIANTE EL USO DEL NIRS

En el cuadro 81 se presentan los datos de densidad y rendimiento determinados por los métodos clásicos para las 100 muestras enviadas.

A partir de esas 100 muestras originales, se tomaron 20 seleccionadas al azar a intervalos de cuatro muestras para crear un set de validación, las restantes 80 se utilizaron para generar la ecuación de calibración, siendo las características las que presentan en el cuadro 82.

Con las 80 muestras seleccionadas al azar y utilizando el modelo matemático descrito en materiales y métodos, se generaron ecuaciones con las características que se presentan en el cuadro 83.

Analizando el cuadro 83, parecería que el ajuste es relativamente bueno para densidad, y pobre para el caso de rendimiento, pero a pesar de tener un coeficiente de determinación de 0.837 (R2Cal) para la calibración, el error estándar de la validación cruzada (EEVC = 0.04), es relativamente alto y mayor al SEP (error estándar de la predicción, 0.015, ver figura 50), por lo cual la predicción de los valores es baja como se demuestra cuando se predicen los valores con el set de 20 muestras utilizadas para la validación.

**Cuadro 81:** Valores de densidad y rendimiento para las 100 muestras.

Parámetro	N	Min	Max	Media	DE
Densidad	100	0.418	0.600	0.519	0.039
Rendimiento	50	50.800	63.600	55.408	2.388

DE: desvío estándar.

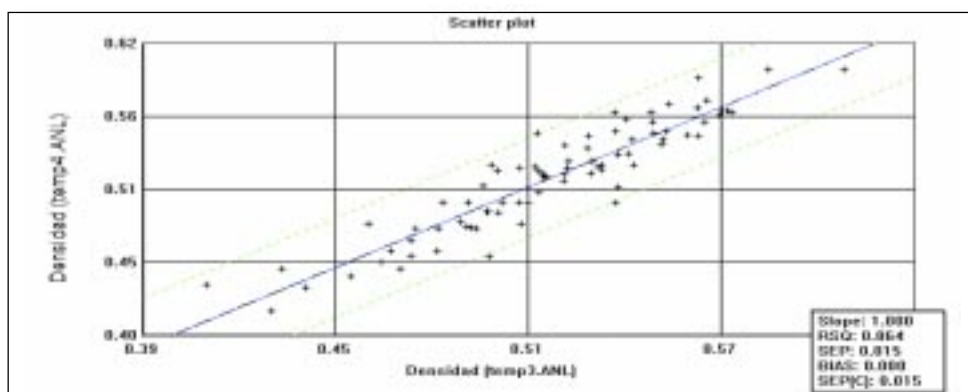
**Cuadro 82:** Valores de densidad y rendimiento para el set de calibración.

Parámetro	N	Min	Max	Media	DE
Densidad	80	0.418	0.600	0.5186	0.0412
Rendimiento	41	50.800	60.900	55.304	2.0612

**Cuadro 83:** Ajuste de las ecuaciones de calibración.

Parámetro	N	Media	DE	Est. Min	Est. Max	EEVC	EEC	RSQ
Densidad	80	0.519	0.041	0.395	0.642	0.040	0.017	0.837
Rendimiento	40	55.163	1.880	49.523	60.802	1.941	1.749	0.135

EEC = error estándar de la calibración, EEVC = error estándar de la validación cruzada, RSQ = coeficiente de determinación de la calibración.



**Figura 50:** Relación entre valores de laboratorio y generados por la ecuación.



La figura 50 muestra una relación relativamente buena, no sólo por el  $R^2$  (0.864), si no que los límites de confianza también aparentan ser buenos, pero la realidad es que si tomamos dos valores de muestra determinados en laboratorio como por ejemplo la 17 con densidad de 0.528 y la 43 con 0.458, las predicciones de NIRS son de 0.500 y 0.499. O sea que valores predichos son prácticamente los mismos, pero los valores "reales", son en un caso 0.028 mayor y en el otro, 0.041 menor. El planteado es un caso extremo, pero real, lo cual nos puede estar indicando varias cosas. Las más destacables serían que el NIRS «leyó» los espectros de forma incorrecta por un mal manipuleo de la muestra, ya sea por distintos contenidos de humedad de la misma, por moliendas defectuosas reflejadas en distintos tamaños de partícula, o simplemente por un mal funcionamiento del equipo en si mismo. Otra razón, y tal vez la más valedera, es que la precisión de las determinaciones de laboratorio no sean tan buenas como se cree a priori, por lo cual la asociación entre el valor generado en el mismo y el predicho no sean ajustados.

Cuando vemos en la figura 51, en donde se trata de validar la ecuación de calibración, vemos que el ajuste es realmente bajo ( $R^2 = 0.061$ ), y los errores estándar de predicción y de predicción de la calibración muy altos (SEP = 1.994 y SEP(C) = 2.012). Esto estaría confirmando que el NIRS no logró hacer una buena predicción de los valores de densidad.

Para el caso de rendimiento de madera el ajuste de la ecuación de calibración fue aún más

bajo que para la de densidad, (Tabla 3,  $R^2 = 0.135$ ), siendo la validación de pobrísima capacidad de predicción. Por este motivo no se realiza una discusión sobre la misma, ya que se cree que las consideraciones realizadas para densidad son válidas para rendimiento de madera.

En resumen podría afirmarse que el NIRS no logró un buen ajuste en la calibración para ninguno de los dos parámetros analizados, siendo los mismos muy bajos, por lo cual a priori se podría considerar que no es una técnica adecuada para la determinación ni de densidad ni de rendimiento de la madera. Debido a pequeños detalles que suman y aportan al error de los procesos hasta la lectura a través del NIRS es que tal vez la primera consideración puede no ser válida.

El presente trabajo tuvo limitantes o restricciones para lograr un buen ajuste en la calibración de ecuaciones que se pueden levantar con facilidad y puedan revertir estos resultados alcanzados. En primer lugar, para ambas variables, las regiones de madera que se analizaron en laboratorio y con el NIRS pueden no haber sido lo próximas que se requiere con este tipo de metodologías. A esto se suma el hecho que las muestras fueron secadas al sol y no se tiene seguridad que la humedad fuese la misma para todas. En cuanto al rendimiento, la principal limitante que se destaca es con respecto al número de muestras, el cual fue bajo (50).

Se considera que a pesar de que estos primeros resultados no han sido lo bueno que se

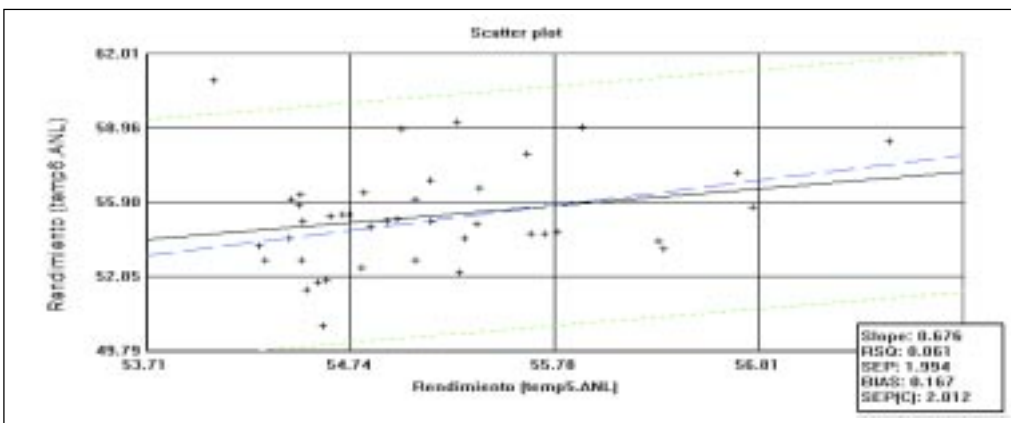


Figura 51: Validación de la densidad de madera.

pretendía, se debería seguir trabajando intentando mejorar el grado de ajuste de los parámetros de interés.

## 5. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos se puede concluir que,

*Para E. globulus:*

De los materiales evaluados, desde el punto de vista del pulpeo, los de la región de Geeveston (orígenes 21, 19 y 23) son los de mejor comportamiento en las zonas 2 y 9. Los orígenes provenientes de las zonas de Moogara, Flinders Island y NE New Norfolk (16, 7 y 15) también mostraron buenos resultados.

Analizando los materiales comunes instalados en las zonas 2 y 9 se observa que el sitio tiene un efecto importante sobre la densidad básica, la cual incide sobre los parámetros del pulpeo mostrando que en la zona 2 los orígenes presentan menor densidad, menores requerimientos de álcali y mayor rendimiento que en la zona 9. No obstante esto, las principales diferencias entre zonas se deben a la productividad de pulpa por há determinada por los crecimientos en cada sitio.

Los orígenes comunes a las zonas 2 y 9 tienen un comportamiento diferente en cada sitio destacándose el 15 "NE New Norfolk" como el más estable en cuanto a las propiedades de la pulpa. En el ensayo de la zona 2 los mejores resultados son obtenidos con los orígenes 5 "Jeeralang North" y 23 "SSE of Geeveston" mientras que en el ensayo de la zona 9 los orígenes destacados (además de los mencionados) son los orígenes 16 "Moogara" y 15 "NE New Norfolk". Considerando los orígenes comunes a los 2 sitios, los mayores valores de producción de pulpa por há son obtenidos en los ensayos instalados en la zona 2.

Los orígenes de la región de Jeeralang se destacan por su alta densidad, bajo consumo

específico y alta productividad de pulpa por há a pesar de presentar un bajo rendimiento en pulpa asociado a un mayor requerimiento de álcali.

Desde el punto de vista del blanqueo se obtiene una buena respuesta con todos los orígenes con resultados muy similares tanto entre materiales como entre sitios.

La densidad básica muestra una relación positiva con el consumo de álcali y una relación negativa tanto con el rendimiento en pulpa como con el consumo de madera. Por tanto, la densidad básica, puede considerarse un buen indicador del comportamiento de un material genético durante el proceso de pulpeo.

La presencia de podredumbre (producida por *Inocutis*) y cancro en la madera provoca una alteración de la densidad básica y de los parámetros del pulpeo aumentando sensiblemente los requerimientos de álcali activo.

Hasta el momento el NIRS no es un buen estimador de los valores de densidad y rendimiento en pulpa. No obstante esto, para la densidad básica, podría ser utilizado como una herramienta para rankear materiales con un buen grado de precisión.

*Para E. maidenii:*

De los orígenes evaluados, en las zonas 7 y 9 los de las regiones de Bolaro Mountain y Wyndham son los que presentan los mejores resultados tanto en crecimiento como desde el punto de vista del pulpeo. En la zona 2 se destacan los orígenes 6 "Yurammie SF", 5 "Wyndham" y 1 "Black Range Via Eden".

Los resultados del blanqueo muestran un comportamiento muy similar al obtenido con *E. globulus* en cuanto a los requerimientos de reactivos y grado de blanco logrados en todos los casos.

El sitio tiene un efecto significativo sobre las variables analizadas mostrando que en el ensayo instalado en la zona 7 se obtiene un bajo valor de requerimiento de álcali, alto rendimiento y densidad y bajo consumo de madera. En este sitio también se obtienen los

mayores valores de productividad de pulpa por há destacándose los orígenes de la región de Bolaro Mountain.

La densidad básica no es un buen indicador del comportamiento pulpable de un material genético ya que no muestra ninguna relación con el consumo de álcali y con el rendimiento en pulpa.

Desde el punto de vista del blanqueo se obtuvo una buena respuesta en todos los casos con resultados muy similares tanto entre materiales como entre sitios.

A partir de la independencia observada entre los principales parámetros analizados sería posible seleccionar materiales que combinen al mismo tiempo varias de las características de interés.

#### *Para E. grandis:*

En los ensayos de las zonas 7 y 8 los orígenes de mejor performance, en cuanto a los resultados del pulpeo son el 3 "NW Coff Harbour", 5 "15 km. N.C Harbour", 6 "Near C. Harbour" y 17 "Wedding Bells SF". En el sitio de la zona 9 el origen 16 "H.S.C. Harbour" es el que presenta los mejores resultados en todas las variables analizadas.

El sitio no tiene un efecto significativo sobre los parámetros del pulpeo indicando que los materiales comunes en promedio tienen una respuesta similar en los tres ensayos.

De los orígenes comunes en los tres sitios el 6 y 7 de la región "Near C. Harbour" son los de mejor y peor comportamiento respectivamente mostrando la variación existente aún en materiales provenientes de la misma región.

Los resultados del blanqueo son muy similares para todos los materiales evaluados en los tres sitios.

La densidad no muestra ninguna relación con los resultados del pulpeo indicando que es posible identificar materiales que tengan varias de las características de interés económico.

Los mayores valores de producción de pulpa por há son obtenidos en el ensayo instalado en la zona 7.

De las fuentes de semilla utilizadas comercialmente se destacan los materiales provenientes del Huerto Semillero de INIA, de Forestal Oriental y del Área de Colecta de Semilla de Caja Bancaria por tener una alta productividad de pulpa por há.

#### *Para E. dunnii:*

Desde el punto de vista del pulpeo y la productividad por há los orígenes de mejor performance son el 8 "Moletón" y del Área de Producción de Semilla de INTA Concordia.

Todos los materiales tienen similar respuesta frente a la secuencia de blanqueo usada.

Los materiales instalados en la zona 8, en promedio, tienen una mayor producción de pulpa por há que en la zona 7. Por otro lado, en esta última zona se obtiene un menor valor de consumo de madera asociados al mayor rendimiento en pulpa.

Los orígenes tienen un comportamiento similar en los dos sitios evaluados.

Al igual que lo observado con *E. grandis* y *E. maidenii* la densidad no es un buen indicador de los parámetros del pulpeo.

#### *Para las cuatro especies:*

No se detectó ninguna relación entre el crecimiento y las propiedades de la madera y la pulpa evaluadas.

Las principales diferencias en productividad de pulpa entre materiales genéticos están determinadas por los valores de crecimiento.

Los resultados obtenidos con *E. grandis* muestran una menor variación que con el resto de las especies evaluadas. El sitio afecta en mayor medida a las propiedades pulpables de *E. globulus*, *E. maidenii* y *E. dunnii* que a *E. grandis*.

La densidad básica tiene una relación positiva con los requerimientos de refinado y una relación variable con las propiedades de resistencias medidas en las pulpas. En cada una de las especies, los orígenes evaluados tienen valores muy similares en cuanto a los índices de resistencias evaluados.

Para cada especie, el sitio no parece tener influencia sobre la blanqueabilidad de los orígenes evaluados.

Para *E.globulus*, *E.maidenii* y *E.dunnii* el incremento de la carga de álcali se traduce en una disminución del rendimiento y la viscosidad de la pulpa pero no tiene un efecto sobre la blanqueabilidad de la misma.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Ricardo Methol por ser el principal responsable de la formulación de este proyecto.

Al Programa de Desarrollo Tecnológico por financiar el proyecto.

A la Ing. Agr. Mariana Manfrini por la colaboración, fundamentalmente en las primeras etapas de la ejecución del proyecto.

A los técnicos del Sector de Productos Forestales del LATU: Ing. Quím. Raul de Castro, Sr. Javier Doldán, Ing. Agr. Bernardo Riet y Per. Agr. Hugo O'Neill por la valiosa colaboración durante la ejecución del proyecto.

A las empresas EUFORES, PASO ALTO y LLANO VERDE por el envío de muestras de madera para los análisis de laboratorio.

A los Ing. Agr. Gabriel Algorta y Esteban Fernandez y a los Sres. Pedro Alza y Rafael Sosa por la coordinación de las actividades de muestreo y envío de la madera al LATU.

Al Ing. Agr. Luis Soria por el asesoramiento en los análisis de laboratorio.

Al Ing. Agr. Gustavo Balmelli por la colaboración en el análisis estadístico de los datos obtenidos.

A los técnicos del Laboratorio de Nutrición Animal del INIA La Estanzuela por el procesamiento y análisis de muestras.

A los Tec. Agr. Pablo Nuñez, Marcelo Alfonso y al Sr. Federico Rodriguez del Programa Forestal del INIA por las actividades cumplidas durante la ejecución del proyecto.

## 7. LITERATURA CONSULTADA

- **BACKMAN, M.; GARCIA DE LEON, J.** Correlations of pulp and paper properties at an early age and full rotation age of five eucalyptus species. 2003. In EUCEPA 2003. Lisboa. 9 p.
- **BALMELLI, G.; ALTIER, N.; MARRONI, V.; GARCIA, R.** Potencial del Mejoramiento genético para el manejo de enfermedades en *Eucalyptus globulus*. Serie Técnica N° 143. INIA Tacuarembó - INIA Las Brujas. Agosto 2004. 44p.
- **ALENTAR, G.; BARRICHELO, L.; DA SILVA JUNIOR, F.**, 2002. Qualidade da madeira de híbrido de *E.grandis* x *E.urophylla* e seleção precoce. En 35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel - ABTCP. 14 a 17 de Outubro 2002 - São Paulo - Brasil.
- **BARRICHELO, L.; FOELKEL, C.** 1976. Estudos para produto de celulosa sulfato de seis espécies de eucalipto. IPEF, Piracicaba, (12): 77-95. jun. 1976
- **CROSSA, M.; QUAGLIOTTI, S.** 2004. Fabricación de pastas kraft blanqueadas de plantaciones comerciales de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y *Eucalyptus globulus* Labillardiere ssp. maidenii (F. Mueller) Kirkpatrick. Tesis Facultad de Agronomía - UDELAR. 2004.
- **DA COSTA, M.; MOUNTEER, A.; COLODETTE, J.** 2001. Ácidos Hexenurônicos. Parte I: Origem, Quantificação, Reatividade e Comportamento durante a Polpação Kraft. O Papel, Mayo. P. 75-85.
- **DA SILVA, M.; MOUNTEER, A.; COLODETTE, J.** 2001. Ácidos Hexenurônicos. Parte II: Remoção e Impacto na Branqueabilidade e Qualidade de Polpa e no Processo de Branqueamento. O Papel. Junho. 77-84
- **De ALMEIDA, S.; DA SILVA JUNIOR, F.** 2004. Influência da carga alcalina no processo de polpação lo-solids para madeira de eucalipto. En: 35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel - ABTCP. 18 a 21 de Outubro 2004 - São Paulo - Brasil.
- **DEAN, G.**, Objectives for Wood fibre quality and Uniformity. 1995. In: Potts, B.M.; Borralho, N.M.G.; Reid, J.B.; Cromer, R.N., Tibbits, W.N.; Raymond, C.A. Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality. Hobart, 1995 Proceeding. Sandy Bay: CRCTHF/IUFRO. V.1, p.5-9.

- **DE MELLO, J., FERNANDEZ, R.,** 2000. Aptitud papelera en 4 especies de Eucalyptus: E.grandis, E.dunnii, E.viminalis y E.badjensis. Tesis Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.
- **DEMUNER, B.J.; VIANNA DORIA, E.L.; da SILVA Jr, E.; MANFREDI, V.** As propriedades do papel e as características das fibras de Eucalipto. 1991. En: 24º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP. São Paulo. Brasil
- **DIAS, R.; CORREA, S.** Contribuição para o efeito de variáveis de cozimento em propriedades da polpa de E.grandis. O papel V 41, n 12 p. 141-154, 1980.
- **FERREIRA, G., DE ASIS, T., GONZAGA, J., RATNIEKS, E., FOELKEL, C., da SILVA, M.** 1993. Qualidade da celulose Kraft-Antraquinona de Eucalyptus dunnii plantado em cinco espaçamentos em relação ao Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna. 1997. Ciência Florestal, Santa Maria, v.7, n.1, p.41-63
- **FOELKEL, C.,** 1978. Madeira do Eucalipto: da floresta ao digestor. Belo Oriente: CENIBRA, 25 p.
- **FOELKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S.,** 1992. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. O papel, v.53, n.5, p.35-40. Maio.
- **GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.** Avaliação estatística da otimização de parâmetros da polpação Kraft de Eucalipto. 1983. Congresso Latinoamericano de Celulosa e Papel, 3, SP, ABTCP, V. 1.
- **GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; DE OLIVEIRA, R.; GIRARD, R.; ARGYROPOULOS, D.;** Fatores que Afetam a Branqueabilidade de Polpas Kraft de Eucalyptus. 2: Influência de Parâmetros da Polpação, 2000. Congresso Anual de Celulose da ABCP, São Paulo - Brasil.
- **MILANEZ, A.; BARTH, P.; PINHO, N.; VESZ, J.,** 1982. Influência das hemiceluloses nas propriedades óticas e físico-mecânicas da polpa. En: XV congresso Anual da ABCP - Semana do Papel - São Paulo - Brasil. 22 a 26 de novembro de 1982. pp. 155-170.
- **NETO, C.P.; EVTUGUIN, D.; FURTADO, F.; MENDES SOUSA, A.** Effect of Pulping Conditions on the ECF Bleachability of Eucalyptus globulus Kraft Pulps. 2002. American Chemical Society. 7 p.
- **PEREIRA, D.E.D.; DEMUNER, B.J.; BERTOLUCCI, F.L.G., PASQUALI, S.M.** 1994. A relação guaiacil/siringil como critério de seleção de árvores e sua importância no processo de deslignificação. In: Congresso Latinoamericano de Deslignificação, 1º, VITORIA, 8 - 12 Agosto. 1994. 179p. p.21-31.
- **REPETTI, R.** 1990. Relación entre las características de la madera y las propiedades del papel. En: Seminario sobre la calidad de la madera en la producción forestal, Buenos Aires - Argentina. Anais: CIEF pp. 11-30.
- **RESQUIN, F.** Avaliação de procedências de Eucalyptus globulus ssp globulus segundo a qualidade de sua madeira para a produção de celulose. Piracicaba 2002, 92p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP.
- **TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY,** 1998-1999. TAPPI Test Methods. Atlanta CD-ROM
- **VALENTE, C.; de SOUSA, A.; FURTADO, F.; DE CARVALHO, A.,** 1992. Improvement program for Eucalyptus globulus at Protucel: Technological component. Appita Journal 45 (6): pp. 403-407.
- **VAN WYK, W.; GERISCHER, G.,** 1994. Pulping Characteristics of Eucalyptus Provenance Trials Grown in the Western Cape Part 1: Comparison between species. Suid-Afrikaanse Bosboutydskrif - nr. 170 5 p.

## ANEXO I

**Cuadro 1.** Características de los ensayos de *E. globulus*

	E 49	E 50	E 37	E 2	E 3
<b>Lugar</b>	Marmarajá, (Lavalleja)	Palmitas, (Soriano)	Paso de las Piedras, (Lavalleja)	Tres Bocas, (Río Negro)	Batoví de Rivera, (Rivera)
<b>Suelo</b>	2.11 <sup>a</sup>	9.3	2.11 <sup>a</sup>	9.3	7.31
<b>Laboreo</b>	Fajas con excéntrica y cincel	Total	Fajas con Surcador	Total	Total
<b>Fecha de plantación</b>	Set. 1995	Set. 1995	Set. 1994	Oct. 1990	Nov. 1990
<b>Distancia de plantación</b>	3 x 2.5m	3.4 x 2.5m	3.3 x 2.2m	3 x 3m	3 x 3m
<b>Densidad</b>	1333 arb/ha	1176 arb/ha	1377 arb/ha	1111 arb/ha	1111 arb/ha
<b>Diseño experimental</b>	Parcelas divididas con 10 rep.	Parcelas divididas con 10 rep.	Parcelas divididas con 6 rep.	Bloques al azar con 6 rep.	Bloques al azar con 6 rep.
<b>Tamaño de la parcela</b>	10 plantas en línea	10 plantas en línea	10 plantas en línea	36 plantas (6 x 6)	36 plantas (6 x 6)

78

**Cuadro 2.** Características de los ensayos de *E. grandis*

	E 21	E 22	E 23	E 87
<b>Lugar</b>	INC, (Tacuarembó)	Tres Bocas, (Río Negro)	Mdeo. Chico, (Tacuarembó)	Buena Unión (Rivera)
<b>Suelo</b>	7.2	9.3	8.9	7.31
<b>Laboreo</b>	Surcador	Fajas	Total	Fajas
<b>Fecha de plantación</b>	Set. 1993	Oct. 1993	Oct. 1993	Set. 1999
<b>Distancia de plantación</b>	4 x 2 m	3.4 x 2.5 m	3 x 2.2 m	4 x 2 m
<b>Densidad</b>	1250 arb/ha	1176 arb/ha	1515 arb/ha	1250 arb/ha
<b>Diseño experimental</b>	Bloques al azar con 10 rep.	Bloques al azar con 10 rep.	Bloques al azar con 10 rep.	Bloques al azar con 4 rep.
<b>Tamaño de la parcela</b>	10 plantas en línea	10 plantas en línea	10 plantas en línea	70 plantas (10 x 7)

**Cuadro 3.** Características de los ensayos de *E. maidenii*

	<b>E 56</b>	<b>E 57</b>	<b>E 58</b>
<b>Lugar</b>	Parada Medina, (Rivera)	Palmitas, (Soriano)	Marmarajá, (Lavalleja)
<b>Suelo</b>	7.2	9.3	2.11 <sup>a</sup>
<b>Laboreo</b>	Total	Total	Fajas
<b>Fecha de plantación</b>	Set. 1996	Oct. 1996	Oct.1996
<b>Distancia de plantación</b>	2.5 x 2.5 m	3 x 2.4 m	3 x 2.5 m
<b>Densidad</b>	1600 arb/ha	1389 arb/ha	1333 arb/ha
<b>Diseño experimental</b>	Parcelas divididas con 6 rep.	Parcelas divididas con 6 rep.	Parcelas divididas con 6 rep.
<b>Tamaño de la parcela</b>	10 plantas en línea	10 plantas en línea	10 plantas en línea

**Cuadro 4.** Características de los ensayos de *E. dunnii*

	<b>E 83</b>	<b>E 84</b>
<b>Lugar</b>	Once Cerros, (Tacuarembó)	El carmen, (Durazno)
<b>Suelo</b>	7.	8.02
<b>Laboreo</b>	Surcos	Surcos
<b>Fecha de plantación</b>	Mayo 1999	Mayo 1999
<b>Distancia de plantación</b>	4.5 x 2m	3 x 2m
<b>Densidad</b>	1111 arb/ha	1666 arb/ha
<b>Diseño experimental</b>	Parcelas al azar con 25 rep.	Parcelas al azar con 25 rep.
<b>Tamaño de la parcela</b>	1 planta	1 planta

**Cuadro 5.** Características de los materiales comerciales de las especies evaluadas

Especie	<i>E.maidenii</i> I	<i>E.maidenii</i> II	<i>E.maidenii</i> III	<i>E.grandis</i>	<i>E.globulus</i> I	<i>E.globulus</i> II	<i>E.globulus</i> III
Sitio de Plantación	Tres Bocas, (Río Negro)	Tres Bocas, (Río Negro)	El carmen (Durazno)	El Carmen (Durazno)	Puntas del Soldado (Lavelleja)	V.Serrana (Lavelleja)	Algorta, (Río Negro)
Suelo	9.3	9.3	8.7	8.7	2.11 <sup>a</sup>	2.12	9.1
Origen de Semilla	Black Range (Australia)	Bolaro Mo. (Australia)	Bolaro Mo. (Australia)	C.J.P.B.	D.Forestal (Chile)	Diano	Jeeralang (Australia)
Fecha de Plantación	1990	1996	1994	1994	1993	1992	1996
Densidad	1336	1336	1111	1111	1.100	1336	1336
Número de árboles	19	19	10	15	16	14	15
Altura (m)	21.1	12.9	17.7	20.7	16.14	21.7	19.2
DAP (cm)	25.5	14.6	19.2	21.7	17.8	26.2	22.4
Altura de Muestreo (m)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4



## ANEXO I

Cuadro 6. Lista de fuentes de semilla de *E. globulus* evaluadas

Código	Origen		Latitud	Longitud	Altitud	Zona
1	Jeeralangs-Yarram.	VIC	38.24	146.31	225	2
4	Police Point.	TAS	39.08	146.25	50	7
5	Jeeralang North.	VIC	38.19	146.33	220	2 7 9
6	12.1 k S Lorne PO.	VIC	38.36	143.54	200	9
7	Flinders Island.	TAS	40.06	148.00	15	2
10	N Cape Barren Island.	TAS	40.22	148.13	20	2 9
12	Pepper Hill Road.	TAS	41.38	147.51	540	2 9
13	Little Henty River.	TAS	41.56	145.12	10	9
15	NE New Norfolk	TAS	42.43	147.09	300	2 9
16	Moogara	TAS	42.47	146.55	500	2 7 9
17	Lonnavule	TAS	42.58	146.44	300	2
18	Snug Tiers RD Sung	TAS	43.50	147.14	200	2
19	S of Geeveston	TAS	43.12	146.54	250	2
20	Blue Gum Saddle	TAS	43.13	146.55	250	2
21	Geeveston Area	TAS	43.13	146.54	360	2
22	NW of Dover	TAS	43.16	146.59	190	2
23	SSE of Geeveston	TAS	43.16	146.57	180	2 9
Dr. W.	Pulp and Paper Company	TAS				7 9
Diano	Local (Lavalleja)					2

**Cuadro 7.** Lista de fuentes de semilla de *E. grandis* evaluadas

Código	Origen	Latitud	Longitud	Altitud	Zona
2	Orara W. C. Harbour NSW	30.15	153.00	105	7
3	NW C. Harbour NSW	30.06	153.05	290	7 8 9
4	16 km. N.C. Harbour NSW	30.09	153.07	120	7
5	15 km. N.C Harbour NSW	30.10	153.07	100	8 9
6	Near C. Harbour NSW	30.05	153.01	300	7 8 9
7	Near C. Harbour NSW	30.14	153.05	200	7 8 9
8	Near C. Harbour NSW	30.13	153.02	130	9
10	Near C. Harbour NSW	30.24	153.00	150	7 8
17	Wedding Bells SF.	30.10	153.07	100	7 8 9
16	Huerto semillero C. Harbour NSW	30.08	153.07	100	7 8 9
AU	Tan Ban NSW - Australia	30.52	152.51	50	7
I	Huerto semillero INIA	31.42	56.00	100/150	7
CB	Área de colecta de semilla/Caja Bancaria				7
MO	Huerto semillero de 2da generación de MONDI - Sud África				7
FO	Huerto semillero de Forestal Oriental	32.52	57.58	54	7
BM	Huerto semillero de Fac. de Agr. Bañado de Medina	32.35	54.15	94	7

**Cuadro 8.** Lista de fuentes de semilla de *E. maidenii* evaluadas

Código	Origen	Latitud	Longitud	Altitud	Zona
1	Black Range V. Eden NSW	37.10	149.41	320	2 7
2	Mt. Dromedary NSW	36.22	150.02	400	2 7 9
3	Poole Road Via Eden NSW	37.12	149.28	480	7
4	Bolaro Mountain NSW	35.40	150.02	380	7 9
5	Wyndham NSW	36.54	149.38	540	2 9
6	Yurammie SF	36.49	149.45	250	2 9
7	Bolaro Mountain NSW	35.40	150.02	380	2 7 9

**Cuadro 9.** Lista de fuentes de semilla de *E. dunnii* evaluadas

Código	Origen	Latitud	Longitud	Altitud	Zona
8	Moleton NSW	30.09	152.53	500	7 8
13	Acacia CK NR Legume NSW	28.24	152.2	675	7 8
91	Yabbra Plains RD NSW	28.37	152.29	500	7 8
555	Moleton Kangaroo SF NSW	30.05	152.54	420	8
I	Área de producción de semilla, Balcarce - Argentina				7 8