

SEMINARIO
APORTES A LA PRODUCCIÓN DE
CELULOSA A PARTIR
DE EUCALYPTUS

AUTORES:

Ing. Agr. Luis Soria - Facultad de Agronomía

Ing. Agr. Fernando Resquin - INIA

Ing. Agr. José C. de Mello - INIA

Ing. Agr. Ismael Fariña - INIA

Ing. Agr. Carlos Faroppa - Estudio Forestal

INIA LAS BRUJAS
2 de Setiembre de 2004

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

Fernando Resquin, José C. de Mello e Ismael Fariña¹

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 factores, 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 financiado por el Ministerio de Educación y Cultura (PDT²).

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).

En este trabajo se presentan los resultados parciales previendo la finalización del mismo en abril del próximo año.

Materiales y métodos

En abril del año 2003 se comenzó con el muestreo en la red de ensayos instalados por el Programa Forestal del INIA. Hasta el momento se han extraído muestras de cuatro ensayos de *Eucalyptus*

¹ Ings. Agrs. Programa Nacional Forestal – INIA Tacuarembó

² Programa de Desarrollo Tecnológico

globulus, tres de *Eucalyptus maidenii*, tres de *Eucalyptus grandis* y tres de *Eucalyptus dunnii*. 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. En total se están evaluando 19 orígenes de *E. globulus*, 7 orígenes de *E. maidenii* y 10 orígenes de *E. grandis* en su mayoría provenientes de Australia. En los Cuadros 1, 2 y 3 se presentan las principales características de los ensayos.

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

	E 49	E 50	E 37	E 2
Lugar	Marmarajá	Palmitas	Paso de las Piedras	Tres Bocas
Suelo	2.11 ^a	9.3	2.11a	9.3
Laboreo	Fajas con excéntrica y cincel	Total	Fajas con surcador	Total
Fecha de plantación	Set.1995	Set. 1995	Set. 1994	Oct. 1990
Distancia de plantación	3 x 2.5m	3.4 x 2.5m	3.3 x 2.2m	3 x 3m
Densidad	1333	1176	1377	1111
Diseño experimental	Parcelas divididas	Parcelas divididas	Parcelas divididas	Bloques al azar
Tamaño de la parcela	10 plantas en línea	10 plantas en línea	10 plantas en línea	36 plantas (6 x 6)

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

	E 21	E 22	E 23
Lugar	Tacuarembó	Tres Bocas	Mdeo. Chico
Suelo	7.2	9.3	8.9
Laboreo	Surcador	Fajas	Total
Fecha de plantación	Set. 1993	Oct. 1993	Oct.1993
Distancia de plantación	4 x 2m	3.4 x 2.5 m	3 x 2.2 m
Densidad	1250	1176	1515
Fertilización	-	-	-
Diseño experimental	Bloques al azar	Bloques al azar	Bloques al azar
Tamaño de la parcela	10 plantas en línea	10 plantas en línea	10 plantas en línea

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

	E 56	E 57	E 58
Lugar	Parada Medina	Palmitas	Minas
Suelo	7.2	9.3	2.11a
Laboreo	Total	Total	Fajas
Fecha de plantación	Set. 1996	Oct. 1996	Oct.1996
Distancia de plantación	2.5 x 2.5m	3 x 2.4m	3 x 2.5m
Densidad	1600	1389	1333
Fertilización	-	-	-
Diseño experimental	Parcelas divididas	Parcelas divididas	Parcelas divididas
Tamaño de la parcela	10 plantas en línea	10 plantas en línea	10 plantas en línea

La lista de materiales genéticos de las especies evaluadas se presentan en los Cuadros 4, 5 y 6.

Cuadro 4. 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 7 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 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 5. 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. NSW	30.10	153.07	100	7 8 9
16	H.S. C. Harbour ³ . NSW	30.08	153.07	100	7 8 9

Cuadro 6. 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 NSW	36.49	149.45	250	2 9
7	Bolaro Mountain NSW	35.40	150.02	380	2 7 9

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 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.

³ Huerto Semillero de la región de Coff Harbour

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).

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). 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. Las condiciones de cocimiento, tratando de obtener un Índice kappa de 18 ± 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 ₂ 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.), m³/ton.
- tenor de sólidos secos por tonelada de celulosa, tss/ton.cel

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

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

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

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 fue 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 elemento (**ECF**) del tipo OD₀(E_p)D₁P según se detalla en los Cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. Condiciones de blanqueo aplicado para *E. globulus* y *E. maidenii*

	Consist. (%)	Temp (°C)	Presión (Kg)	Tiemp. (hs)	H ₂ O ₂ (%)	NaOH (%)	ClO ₂ (%)	MgSO ₄ (%)	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 8. Condiciones de blanqueo aplicado para *E. grandis*

	Consist. (%)	Temp (°C)	Presión (Kg)	Tiemp. (hs)	H ₂ O ₂ (%)	NaOH (%)	ClO ₂ (%)	MgSO ₄ (%)	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				

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

- consumo de ClO₂ por unidad de Kappa que se baja en el blanqueo (Kg Cl₂/ΔKappa)
- consumo de ClO₂ (Kg Cl₂ por tonelada de celulosa)
- viscosidad (Norma TAPPI T 230 om 89)

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.

Resultados y Discusión

Eucalyptus globulus

1. Caracterización de fuentes de semilla en zonas 2 y 9

- Ensayo en Marmarajá, (Lavalleja) – 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 9). 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 m³/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.

Cuadro 9. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. globulus*

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

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

El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 10). 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*.

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 procesos 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.

Cuadro 10. Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. globulus*

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

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

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 11). 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/cm³, respectivamente. El valor más bajo corresponde al origen 16 "Moogara" con 0.468 g/cm³. 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 m³/ton. cel.). El resto de los materiales evaluados presentan valores que oscilan de 3.7 a 3.9 m³/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 está 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 muestran una producción de celulosa por ha. 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).

Cuadro 11. Valores de densidad básica, consumo específico, producción de pulpa y tenor de sólidos por ton. de celulosa de los orígenes de *E. globulus*

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

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

Los resultados del blanqueo de estos materiales son presentados en el Cuadro 12. 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 y por lo tanto no se espera que las propiedades de resistencias de las pulpas se vean comprometidas. El menor valor observado en el origen 5 "Jeeralang North" probablemente este asociado a la mayor carga de reactivos usada durante el pulpeo.

Cuadro 12. Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. globulus*.

Orígenes	ClO ₂ (Kg/ton pulpa seca)	ClO ₂ (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

- 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 13. 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 m³/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%.

Cuadro 13. Valores de crecimiento, proporción de corteza de los orígenes de *E. globulus*.

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

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

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

Cuadro 14. Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. globulus*

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

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

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 15).

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/cm³ 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. Evaluando 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.

Cuadro 15. Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. globulus*.

Orígenes	Db. (g/cm ³)	Consumo m ³ /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
5	0.535a	3.8a	51.3	2.1 ^a
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 ^{ab}
23	0.498b	3.7a	44.3	1.7bc

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

Los resultados del blanqueo de los materiales evaluados muestran que en general todos los orígenes tienen buen comportamiento alcanzando altos valores de blancura con similares valores de consumo de cloro asociados a altos valores de viscosidad (Cuadro 16). 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 16. Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. globulus*

Orígenes	ClO ₂ (Kg/ton pulpa seca)	ClO ₂ (Kg/unidad kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
5	50.4	2.8	17.6	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

Análisis del efecto sitio – E 49 vs E 50

Del análisis de varianza surge que existen diferencias entre sitios para las variables requerimientos de álcali, rendimiento en pulpa y densidad básica (Cuadro 17). 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/cm³, 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.

Cuadro 17. Resultados del pulpeo y productividad de los orígenes comunes (4) instalados en Marmarajá (zona 2) y Palmitas (zona 9).

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

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

Análisis de la interacción genotipo-ambiente

El análisis realizado con los 4 orígenes comunes en los ensayos de Marmarajá y Paso de las Piedras 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 1, 2, 3, 4 y 5).

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 básica, menor consumo de madera y mayor producción de pulpa por ha., 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 ha., 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.

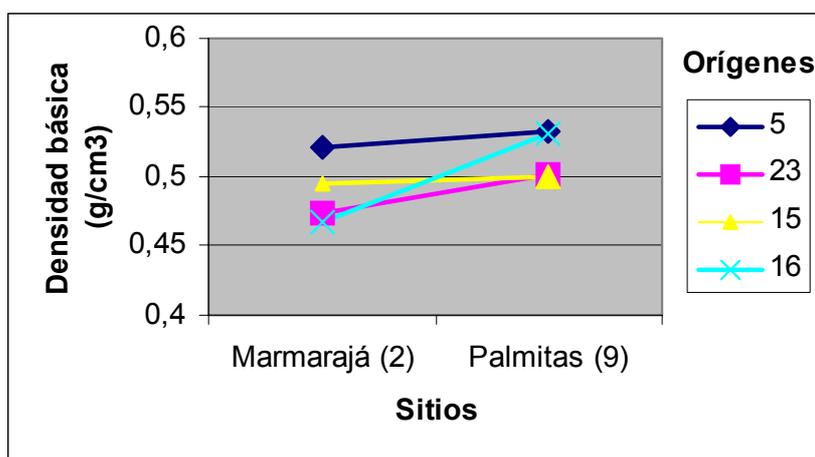


Figura 1. Densidad básica de los orígenes de *E. globulus* comunes en los dos sitios

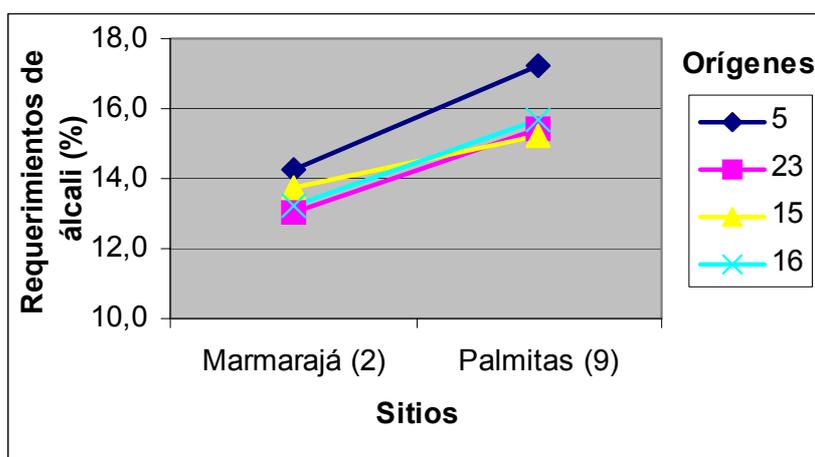


Figura 2. Requerimientos de álcali durante el pulpeo de los orígenes de *E. globulus* comunes en los dos sitios

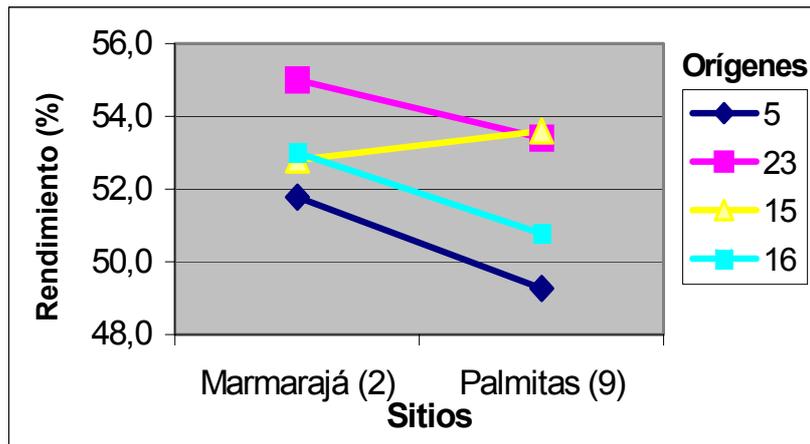


Figura 3. Rendimiento en pulpa de los orígenes comunes de *E. globulus* en los dos sitios

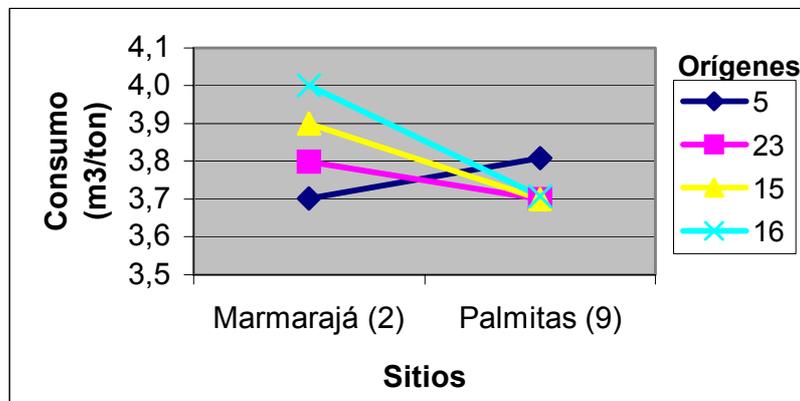


Figura 4. Consumo de madera de los orígenes de *E. globulus* comunes en los dos sitios

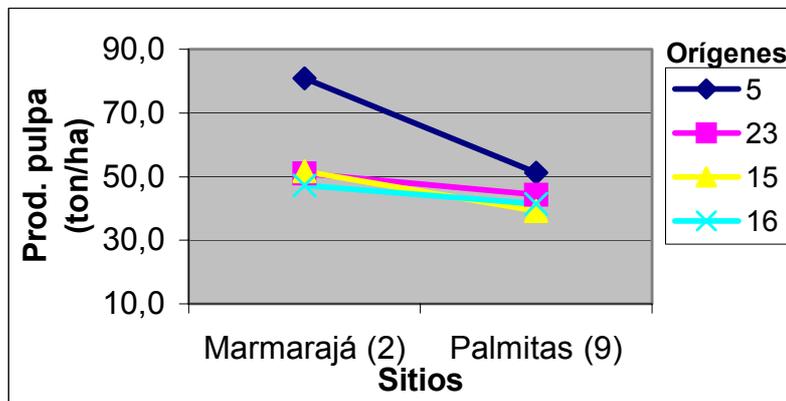


Figura 5. Producción de pulpa de los orígenes de *E. globulus* comunes en los dos sitios

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 6). 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/ Δ Kappa). De todos los orígenes evaluados, el 16 "Moogara" es el que muestra el menor efecto del sitio sobre esta variable.

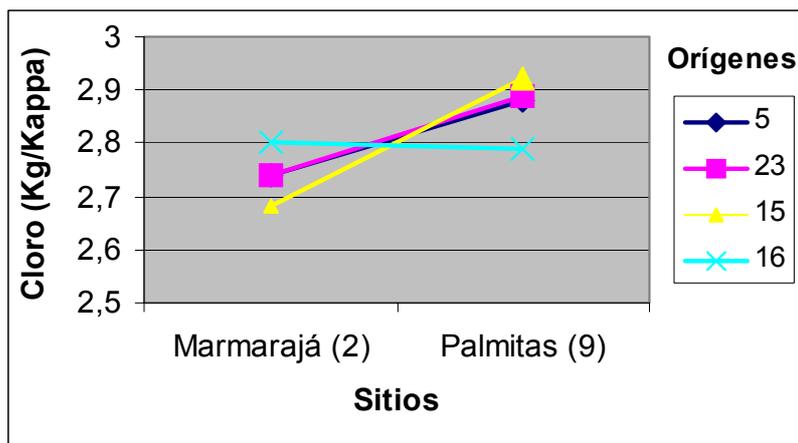


Figura 6. Requerimientos de cloro activo para obtener 90% de blancura con los orígenes de *E. globulus* comunes en los dos sitios

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

En los Cuadros 18, 19, 20 y 21 son presentados los parámetros silviculturales, los resultados del pulpeo y del blanqueo de los orígenes evaluados al noveno año.

Cuadro 18. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. globulus*

Código	Origen	Volumen(m ³ /ha)	IMA(m ³ /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%

El análisis de varianza detecta diferencias significativas para las variables volumen por hectárea y proporción de corteza entre los orígenes evaluados (Cuadro 18). 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 m³/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 m³/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 sí variando de 13 a 17%.

Cuadro 19. Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. globulus*

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

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 19).

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 primero y el último de los parámetros mencionados (Cuadro 20). El origen 1 "Jeeralangs Yarram" es el que presenta el valor más alto de densidad mientras que el que resto de los materiales mostraron valores similares.

Cuadro 20. Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. globulus*

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

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

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 m³/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 ha., 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 existen 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 21. 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, los valores de viscosidad determinados no serían limitantes en cuanto a las resistencias de las pulpas obtenidas.

Cuadro 21. Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. globulus*

Orígenes	ClO ₂ (Kg/ton pulpa seca)	ClO ₂ (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

- Ensayo en Tres Bocas (Río Negro) – E 2

En el Cuadro 22 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 la variable proporción de corteza.

En este caso se destaca el origen 5 "Jeeralang North" con un IMA sin corteza de 23 m³/ha/año. Este origen alcanza un crecimiento muy superior al resto debido a que presenta una menor incidencia de problemas sanitarios comparado con el resto de los materiales en evaluación (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 ha... 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.

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%.

Cuadro 22. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. globulus*

Código	Origen		Volumen (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/a)	Corteza (%)
5	Jeeralang North.	VIC	305	23	19.8 ^a
6	12.1 k S Lorne PO.	VIC	217	17	17.9ab
10	N Cape Barren Island.	TAS	141	11	16.0b
13	Little Henty River.	TAS	203	16	12.7c
Dr. W	Pulp and Paper Company	TAS	179	14	10.8c

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

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 23).

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 probablemente 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.

Cuadro 23. 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
6	17.0b	18.3	50.4b	0.0
10	15.7c	17.8	51.4ab	0.0
13	15.7c	17.8	51.8 ^a	0.0
Dr. W	15.9c	17.4	51.2ab	0.0

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

En el Cuadro 24 son presentados los datos de densidad básica, consumo específico de madera, producción de pulpa por ha... 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/cm³, seguido por el origen 6 "12.1 k S Lorne PO" con 0.569 g/cm³. El resto de los materiales presentan valores muy similares entre sí. 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.

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 m³/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.

Cuadro 24. Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. globulus*

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

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

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 25). 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.

Cuadro 25. Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. globulus*

Orígenes	ClO ₂ (Kg/ton pulpa seca)	ClO ₂ (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

En términos generales, considerando los resultados obtenidos en los cuatro 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/ Δ Kappa. Estas diferencias están asociadas 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 ± 1 de este parámetro.

En función de estos resultados, puede afirmarse que 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).

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 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 7). Esta tendencia parece más marcada a partir de valores de densidad básica superiores a 0.500 g/cm³. 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/cm³ (Figura 8). El hecho de utilizar maderas más densas, como fue mencionado, implica tener que aplicar mayores cargas de reactivos durante la cocción para obtener 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 9). 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 de la madera.

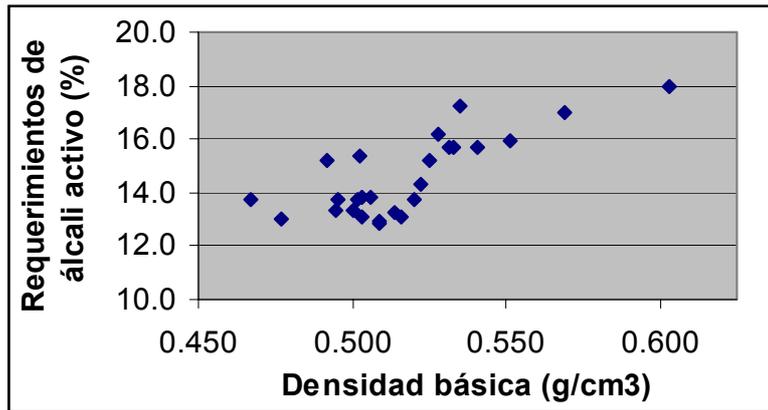


Figura 7. Relación entre los valores de densidad básica y requerimientos de álcali para todos los orígenes de *E. globulus* evaluados.

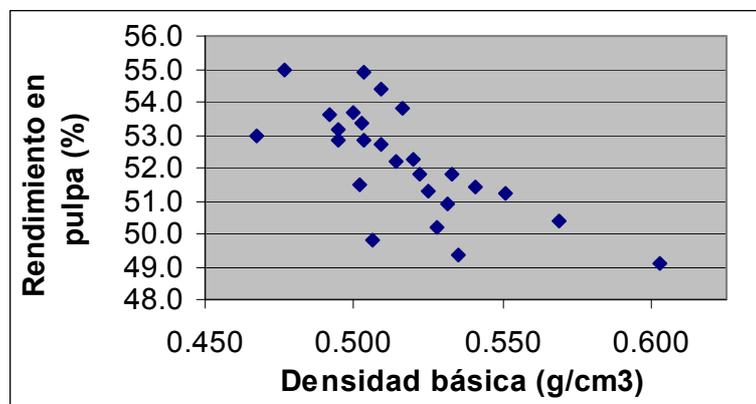


Figura 8. Relación entre los valores de densidad básica y rendimiento en pulpa para todos los orígenes de *E. globulus* evaluados.

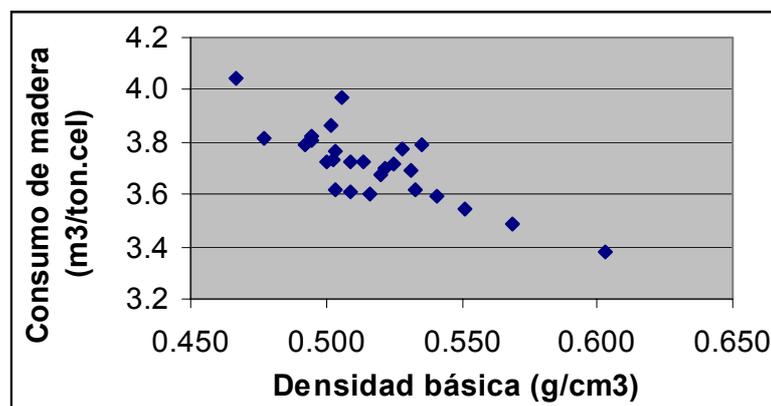


Figura 9. Relación entre los valores de densidad básica y consumo de madera para todos los orígenes de *E. globulus* evaluados.

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, 1990; Pereira, et.al. 1994).

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 cuatro 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 10). 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). Esto requeriría realizar estudios fundamentalmente con algunos orígenes que han mostrado buen comportamiento tanto desde el punto de vista del crecimiento como de las propiedades de la madera y/o el pulpeo como por ejemplo los de las regiones de Jeeralang, Moogara y Geeveston.

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 10 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 8. 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.

Por otro lado, si bien se observa un efecto negativo sobre la viscosidad los valores obtenidos no se consideran que puedan ser limitantes de las propiedades mecánicas de las pulpas aunque esto va a ser determinado durante la ejecución de este proyecto.

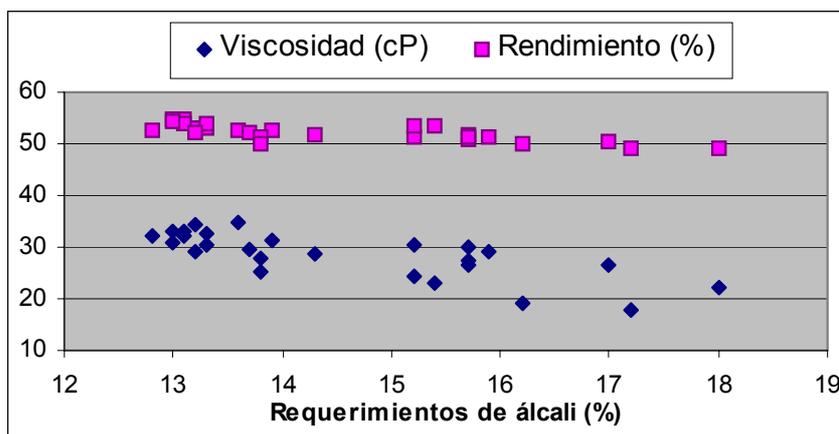


Figura 10. Relación entre el requerimiento de álcali activo, rendimiento y viscosidad de la pulpa para los orígenes de *E. globulus* en los cuatro sitios.

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 11). 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.

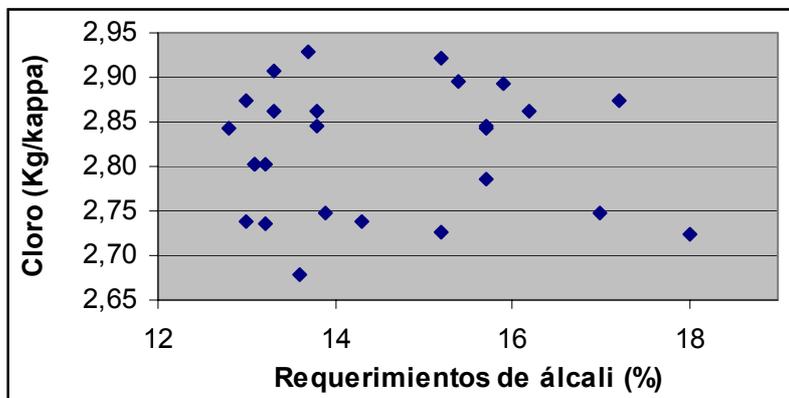


Figura 11. Relación entre el requerimiento de álcali activo y cloro activo para obtener 90% de blancura para los orígenes de *E. globulus* en los cuatro sitios.

4. Efecto de agentes patógenos sobre los parámetros del pulpeo

En los Cuadros 26 y 27 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 cancos. 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 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. No obstante todos los materiales muestran resultados similares en cuanto a los efectos del hongo, los mismos deben ser relativizados a la diferente incidencia la cual varía desde valores muy bajos para el caso del origen 12 "Pepper Hill Road" (4.9%) hasta el valor más alto registrado por el origen local (Diano) con 27.5%. 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%.

Cuadro 26. 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 ³)		A.A (%)		Rend. Dep. (%)		Consumo específico (m ³ /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		0.507	0.493	13.4	17.9	52.8	49.3	3.8	4,1

*Fuente: Balmelli et al, 2004

Para el caso de la madera con síntomas de cancro, se observa que ocurre un aumento de la densidad básica, de los requerimientos de álcali, una reducción en el rendimiento y un aumento en el consumo de madera. 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 27. Valores de densidad básica y parámetros del pulpeo de árboles con y sin síntomas de cancro

Orígenes	Severidad Cancros** (1 a 5)	Db (g/cm ³)		A.A (%)		Rend. Dep. (%)		Consumo específico (m ³ /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	13.4	17.6	52.8	48.1	3.7	3.9

**Fuente: Balmelli et al, 2004

Eucalyptus maidenii

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

- Ensayo en Parada Medina (Rivera) – E 56

En el Cuadro 28 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 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 m³/ha/año, respectivamente. El resto de los materiales presentan valores muy similares oscilando de 16 a 18 m³/ha/año. Los valores de proporción de corteza no muestran mayores diferencias entre materiales a excepción del origen 2 "Mt. Dromedary" el cual muestra el valor más bajo con 20.7%.

Cuadro 28. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. maidenii*

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

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

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 29). 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 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.

Cuadro 29. Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. maidenii*

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

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

El análisis de los datos muestra que existen diferencias significativas entre orígenes solo para las variables densidad básica y consumo específico de madera (Cuadro 30). Los valores más altos de densidad básica corresponden a los orígenes 4 y 7 de la región de "Bolaron Mountain", con 0.584 y 0.580 g/cm³, respectivamente. A diferencia de lo observado con los orígenes de *E. globulus*, en este caso no se detectó ninguna relación definida 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 m³/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 "Bolaron Mountain" reflejan los crecimientos superiores de estos materiales.

La tendencia de los valores de tenor de sólidos por tonelada de celulosa producida 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.

Cuadro 30. Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. maidenii*

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

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

Los resultados del blanqueo de estos materiales son presentados en el Cuadro 31. 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 y por lo tanto no se espera que las propiedades de resistencias de las pulpas se vean perjudicadas por los procesos de pulpeo y blanqueo.

Cuadro 31. Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. maidenii*

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

- 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 32). 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%).

Cuadro 32. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. maidenii*

Código	Origen	Volumen (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/a)	Corteza (%)
4	Bolaro Mountain	85.3 ^a	13.1	22.2 ^b
7	Bolaro Mountain	65.3 ^{ab}	10.0	23.1 ^b
2	Mt.Dromedary	63.9 ^{ab}	9.8	21.6 ^b
6	Yurammie SF	52.5 ^b	8.1	26.8 ^a
5	Wyndham	67.7 ^{ab}	10.4	24.5 ^{ab}

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 33). En este sitio, en general los materiales evaluados tienen un comportamiento más variable que en el ensayo instalado en la zona 7. 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.

Cuadro 33. Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. maidenii*.

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

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

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 34). 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/cm³, respectivamente.

Con estos orígenes de este ensayo, al igual que en el sitio anterior, no se observa una relación entre los valores 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 m³/ton.cel, respectivamente). Los resultados de producción de pulpa resaltan aún más las diferencias observadas entre orígenes comparado con los diferencias observadas en los valores de crecimiento. Para esta variable, el origen 4 "Bolaro Mountain" casi duplica al resultado obtenido por el origen 6 "Yurammie SF", (25.1 vs 13.5 ton/ha., 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).

Cuadro 34. Valores de densidad básica, consumo específico y producción de pulpa de los orígenes de *E. maidenii*

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

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

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. En cuanto a los valores de viscosidad se observa que 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 aunque tal hecho va a ser confirmado en los ensayos mecánicos a ser realizados próximamente (Cuadro 35).

Cuadro 35. Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. maidenii*

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

Los valores de densidad básica, rendimiento y consumo específico de madera obtenidos en este sitio son algo inferiores a los reportados por Backman y Garcia 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.

- Ensayo en Marmarajá (Lavalleja) – E 58

En el Cuadro 36 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 ha. 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 m³/ha/año, respectivamente. Estos materiales son seguidos por los orígenes 7 "Bolaro Mountain" y 1 "Black Range Via Eden" con un IMA próximo a 15 m³/ha/año. Los valores de proporción de corteza son similares para todos los materiales con una ligera superioridad del origen 1 "Black Range Via Eden".

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

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

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

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 37). Los valores de requerimientos de álcali activo son algo superiores para los orígenes 2 "Mt. Dromedary" y "6 "Yurammie SF" con 16.4 y 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 con los requerimientos de álcali de modo que los mayores valores de rendimiento están asociados a los menores requerimientos de reactivos durante el pulpeo. Los valores de rechazo son similares y muy bajos en todos los casos.

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

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

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

En el Cuadro 38 se presentan los valores de densidad básica, consumo específico de madera, producción de pulpa y el tenor de sólidos generados por tonelada de celulosa producida. 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 comparado con las diferencias observadas para el crecimiento de los diferentes materiales. Los orígenes más productivos son el 6 "Yurammie SF" y 5 "Wyndham" con 32.3 y 30 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.

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

Orígenes	Db. (g/cm ³)	Consumo m ³ /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
7	0.551 ^a	3.6 ^a	27.4	1.9 ^a
2	0.504 ^a	3.9 ^a	18.9	2.0 ^a
6	0.525 ^a	3.9 ^a	32.3	2.1 ^a
5	0.507 ^a	3.9 ^a	30.0	1.9 ^a
1	0.521 ^a	3.8 ^a	27.0	1.9 ^a

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

Los resultados del blanqueo de estos materiales son presentados en el Cuadro 39. Los resultados muestran que todos los orígenes tienen un comportamiento similar medida en términos de consumo de cloro y grado de blanco obtenido. Los valores de viscosidad obtenidos son altos y por lo tanto se espera que las propiedades de resistencias de las pulpas reflejen la resistencia intrínseca de las fibras.

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

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

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 40).

Cuadro 40. Resultados del pulpeo y productividad de los 2 orígenes comunes instalados en Marmarajá (zona 2), P. Medina (zona 7) y Palmitas (zona 9)

Orígenes	A.A. (% p.s.)	Rend. Dep. (%)	Db (g/cm ³)	Consumo (m ³ /ton)	Prod. Pulpa (ton/ha..)
Zona 2	15.7b	50.3 ^a	0.527b	3.8 ^a	23.1
Zona 7	16.6b	50.9 ^a	0.560 ^a	3.5b	37.4
Zona 9	22.2 ^a	46.5b	0.570 ^a	3.8 ^a	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 requerimientos 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... mientras que el de la zona 9 muestra el mayor valor de densidad básica.

Análisis de la interacción genotipo - ambiente

El análisis efectuado con los dos orígenes comunes a los tres sitios no determinó la existencia 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 12, 13, 14, 15 y 16). Esto quiere decir 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, esto implica que en general el origen de mejor resultado en un ensayo mantiene su superioridad en el resto de los ensayos.

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

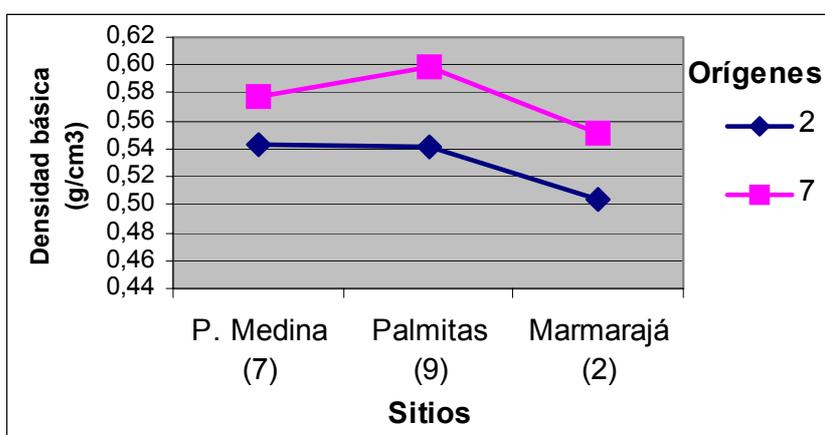


Figura 12. Densidad básica de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

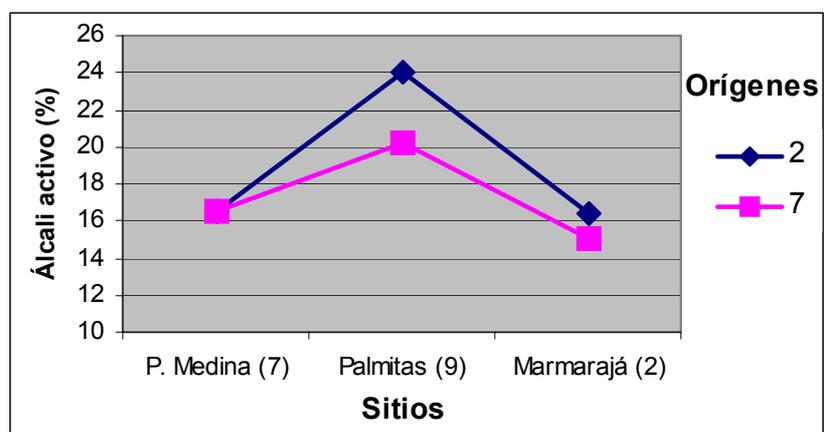


Figura 13. Requerimientos de álcali durante el pulpeo de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

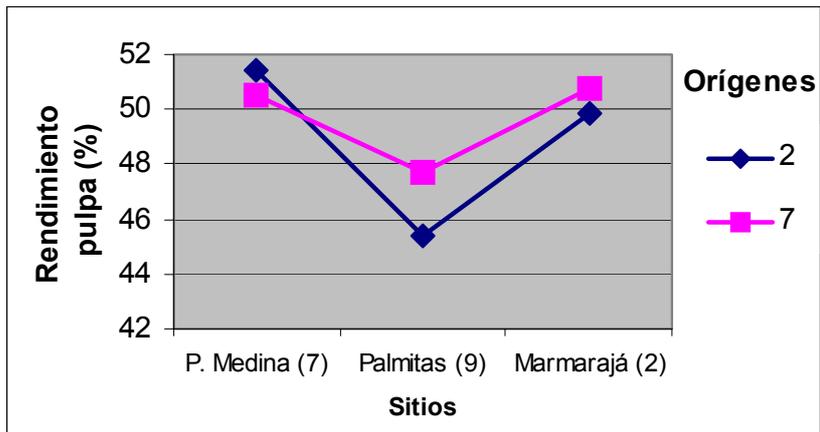


Figura 14. Rendimiento en pulpa de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

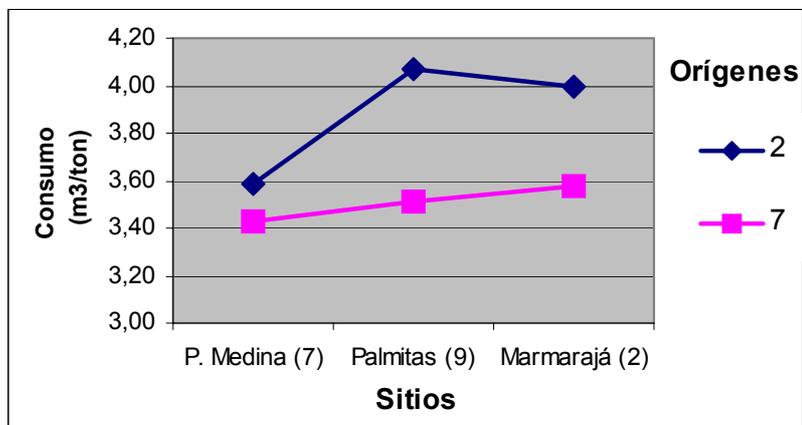


Figura 15. Consumo de madera de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

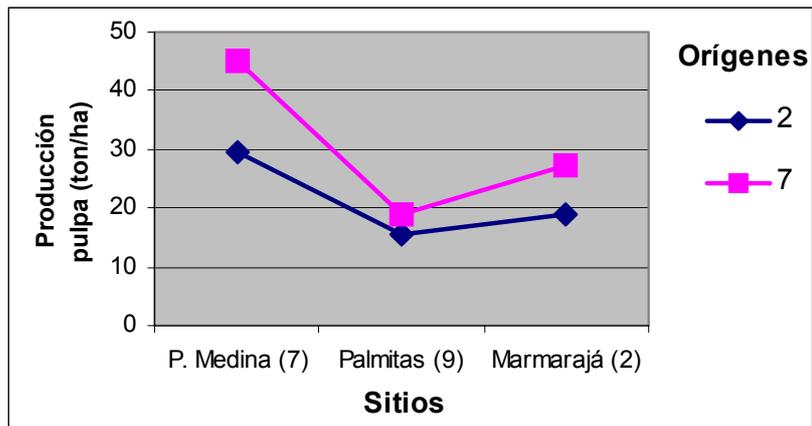


Figura 16. Producción de pulpa de los orígenes de *E. maidenii* comunes en los tres sitios

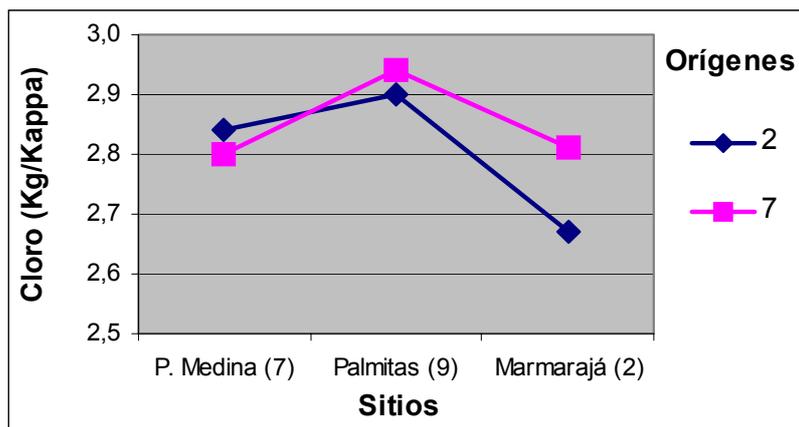


Figura 17. Requerimientos de cloro activo para obtener 90% de blancura con los orígenes de *E. maidenii* comunes en los dos sitios

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 17). 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 7 y este a su vez mayor que en el ensayo de la zona 2 (2.9 vs 2.8 vs 2.7 Kg/ Δ Kappa). De los dos orígenes evaluados el 7 "Bolaro Mountain" muestra los mayores valores en los ensayos de las zonas 2 y 9.

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

Analizando en forma conjunta los datos obtenidos 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 18).
- 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 19).
- 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 20).

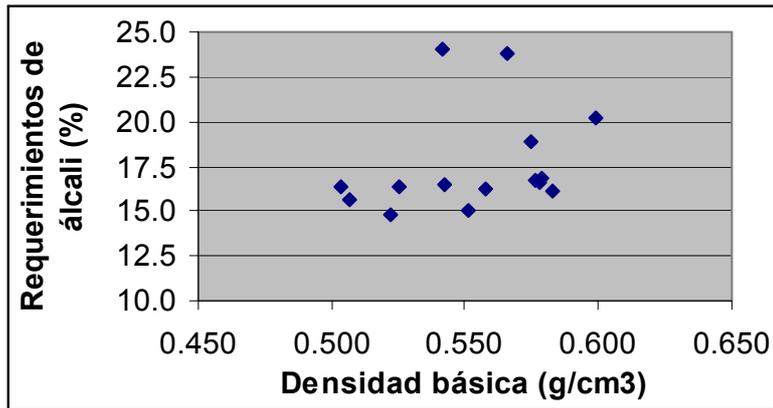


Figura 18 . Relación entre los valores de densidad básica y requerimientos de álcali para todos los orígenes de *E. maidenii* evaluados.

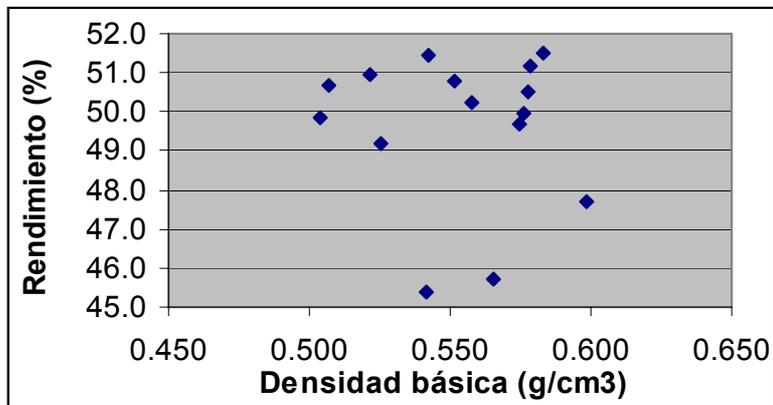


Figura 19 Relación entre los valores de densidad básica y rendimiento en pulpa para todos los orígenes de *E. maidenii* evaluados.

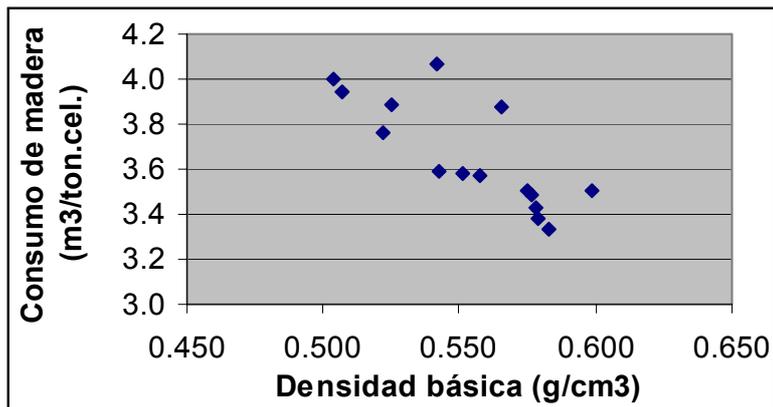


Figura 20. Relación entre los valores de densidad básica y consumo de madera para todos los orígenes de *E. maidenii* evaluados.

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.

Desde el punto de vista de 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/ Δ Kappa para todos los orígenes evaluados. Estas diferencias estarían explicadas por las mismas razones que las mencionadas para *E. globulus*.

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 (como con *E. globulus*) existe una relación negativa entre esta variable con el rendimiento en pulpa y la viscosidad de la misma (Figura 21). Los resultados obtenidos indican que para obtener similares contenidos de lignina residual en la pulpa es necesario 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 bajo consumo como es mostrado en la figuras 19 y 20.

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.

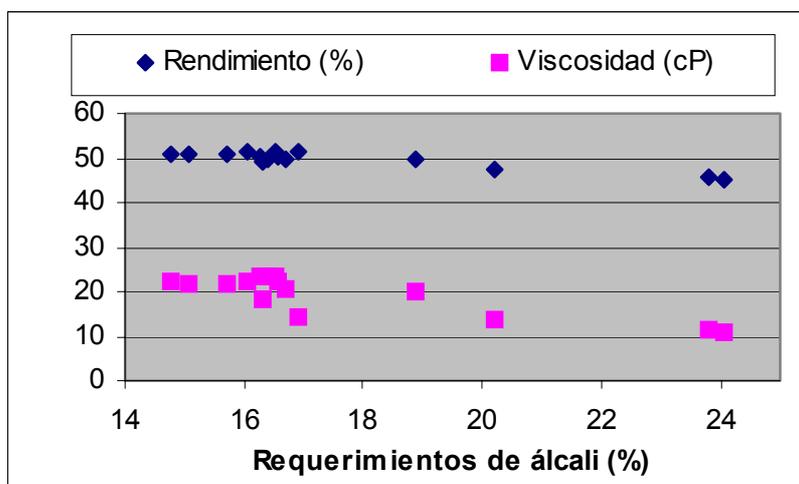


Figura 21. Relación entre el requerimiento de álcali activo, rendimiento y viscosidad de la pulpa para los orígenes de *E. maidenii* en los tres sitios.

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 22).

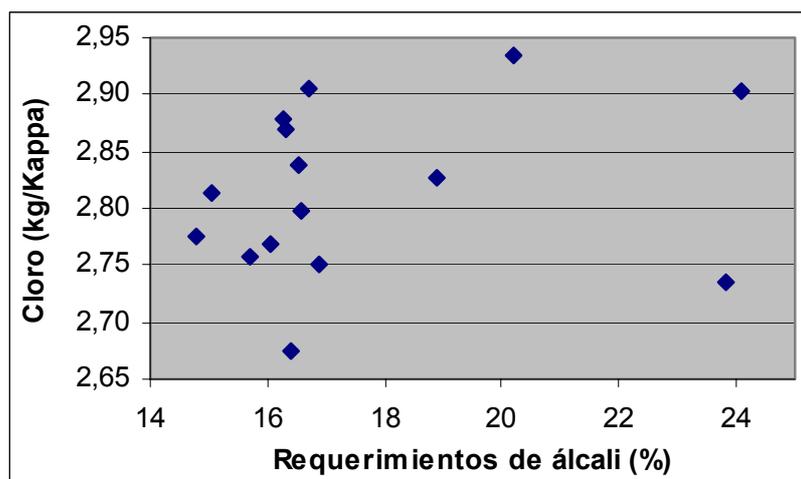


Figura 22. Relación entre el requerimiento de álcali activo y cloro activo para obtener 90% de blancura para los orígenes de *E. maidenii* en los tres sitios.

Eucalyptus grandis

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

- Ensayo en Tacuarembó – E 21

En el Cuadro 41 son presentados los datos de volumen, IMA y proporción de corteza al décimo año de los orígenes evaluados. 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. El análisis de los datos indican que existen diferencias significativas entre orígenes para la variable proporción de corteza con valores que varían desde 10.9% (origen 4 "16 km. N.C. Harbour") a 13.5% (origen 6 "Near C. Harbour").

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

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

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 42).

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 valores 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.

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

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

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

El análisis de varianza detecta diferencias significativas entre orígenes para las variables densidad básica, consumo de madera y tenor de sólidos (Cuadro 43). 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/cm³, respectivamente. El resto de los materiales presentan valores similares variando de 0.406 a 0.390 g/cm³. 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 valores 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 y 4.6 m³/ton.cel. asociados a los altos valores de densidad. La producción de pulpa por ha. 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/ha... 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 43. Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de los orígenes de *E. grandis*

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

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

Los resultados de los parámetros del blanqueo de estos orígenes son presentados en el Cuadro 44. 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 se espera que las propiedades de resistencias de las pulpas hayan sido perjudicadas por los procesos de pulpeo y blanqueo.

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

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

- Ensayo en Tres Bocas (Río Negro) – E 22

En el Cuadro 45 son presentados los valores de crecimiento y proporción de corteza al décimo año de los orígenes de *E. grandis* instalados en Tres Bocas. Los orígenes de mayor valor de IMA sin corteza son el 16 "Huerto Semillero C.H." y 6 "Near C. Harbour" con valores de 40.5 y 38 m³/ha/año. 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 m³/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 45. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. grandis*

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

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 requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 46). Los valores de requerimientos 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 requerimientos de álcali y rendimiento en pulpa muestra que ambos parámetros se comportan de manera independiente. Los rechazos iguales para todos los materiales.

Cuadro 46. Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. grandis*

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

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

En el Cuadro 47 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 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/cm³, 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 m³/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/ha. 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.

Cuadro 47. Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	Db. (g/cm ³)	Consumo m ³ /ton.cel	Prod. Pulpa (ton/ha)	Sólidos (tss/tcel)
6	0.466 ^a	4.2 ^{ab}	92.3	1.8abc
5	0.463 ^{ab}	4.2 ^{ab}	77.3	1.9 ^{ab}
3	0.434 ^b	4.5 ^a	76.3	1.9abc
17	0.434 ^b	4.4 ^{ab}	74.9	1.8bc
7	0.429 ^b	4.5 ^a	69.8	1.9abc
8	0.462 ^{ab}	4.3 ^{ab}	66.2	2.0a
16	0.470 ^a	4.1 ^b	101.0	1.7c

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

Los resultados del blanqueo presentados en el Cuadro 48 muestran que todos los orígenes tienen un comportamiento similar medida 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.

Cuadro 48. Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. grandis*

Orígenes	ClO ₂ (Kg/ton pulpa seca)	ClO ₂ (Kg/unidad Kappa)	Viscosidad (cP)	Grado de blanco (% ISO)
6	58.3	3.3	16.7	90.6
5	58.3	3.3	17.4	90.7
3	58.3	3.2	19.5	91.7
17	58.3	3.2	19.5	90.9
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

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 (0.498 vs 0.451 g/cm³, 47.9 vs 51.5 % y 3.9 vs 4.3 m³/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.

- Ensayo en Montevideo Chico (Tacuarembó) – E 23

En el Cuadro 49 son presentados los valores de crecimiento y proporción de corteza al décimo año para los orígenes de *E. grandis* evaluados. 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 m³/ha/año, respectivamente. El origen de peor comportamiento es el 5 "15 km. N.C Harbour" con un valor de 37.9 m³/ha/año. El análisis de varianza detecta diferencias significativas entre orígenes para la variable proporción de corteza. 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 con 11.6, 12.2, 12.8 y 12.8% respectivamente.

Cuadro 49. Valores de crecimiento y proporción de corteza de los orígenes de *E. grandis*

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

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 50). El menor valor de álcali corresponde el 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 parámetro está 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 varían de 51.1 a 51.7% (orígenes 6 "Near C. Harbour", 7 "Near C. Harbour" y 17 "Wedding Bells SF"). Los rechazos son iguales para todos los casos.

Cuadro 50. Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. grandis*

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

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

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 51). Se destacan los orígenes 17 "Wedding Bells SF" y 5 "15 km. N.C Harbour" con valores de 0.429 y 0.424 g/cm³. También en este caso se observa que existe una relación negativa entre los valores de densidad y requerimientos 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 m³/ton.cel.). La productividad de los materiales evaluados está 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/ha... 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.

Cuadro 51. Valores de densidad básica, consumo de madera y producción de pulpa de los orígenes de *E. grandis*

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

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

En el Cuadro 52 son presentados los resultados del blanqueo de los orígenes evaluados en este sitio. Se observa que todos los materiales tienen altos valores de viscosidad, 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 que partieron de valores de Kappa más bajos (3.5 y 3.4 Kg cloro activo/Δ Kappa vs 17.9 y 17.3, respectivamente).

Cuadro 52. Resultados del blanqueo a aprox. 90% ISO de los orígenes de *E. grandis*

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

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 53). 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 ha. 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 53. Resultados del pulpeo y productividad de los orígenes comunes (4) instalados en Tacuarembó (zona 7), Tres Bocas (zona 9) y Mdeo. Chico (zona 8)

Orígenes	A.A. (% p.s.)	Rend. Dep. (%)	Db (g/cm3)	Consumo (m3/ton)	Prod. Pulpa (ton/ha..)
Zona 7	17.2 ^a	51.9 ^a	0.415 ^b	4.7 ^a	108.5
Zona 8	17.1 ^a	51.3 ^a	0.406 ^b	4.8 ^a	98.6
Zona 9	17.3 ^a	51.6 ^a	0.432 ^a	4.5 ^b	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 23, 24, 25, 26 y 27).

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

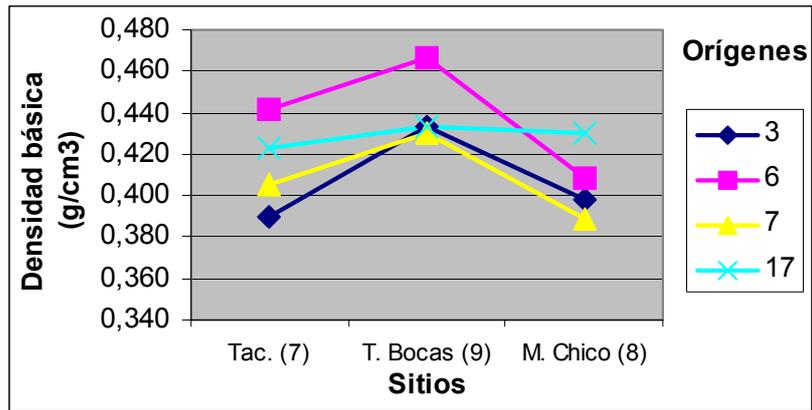


Figura 23. Densidad básica de los orígenes de *E. grandis* comunes a los tres sitios

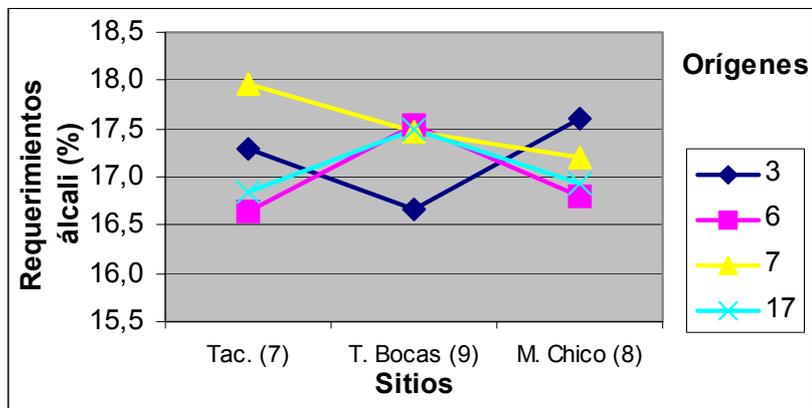


Figura 24. Requerimientos de álcali durante el pulpeo de los orígenes de *E. grandis* comunes en los tres sitios

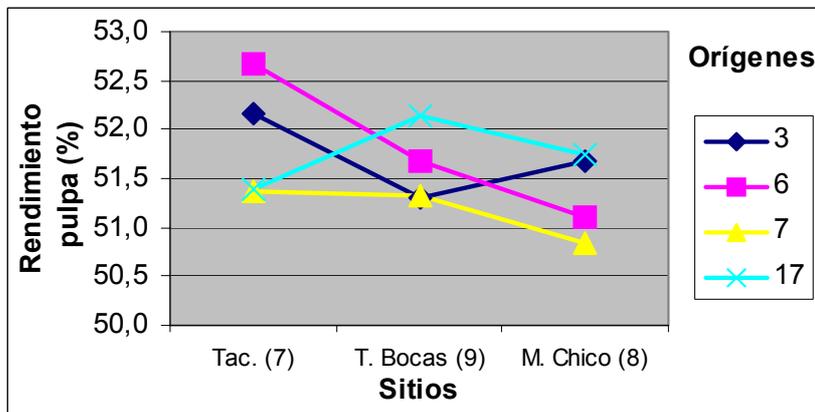


Figura 25. Rendimiento en pulpa de los orígenes de *E. grandis* comunes en los tres sitios

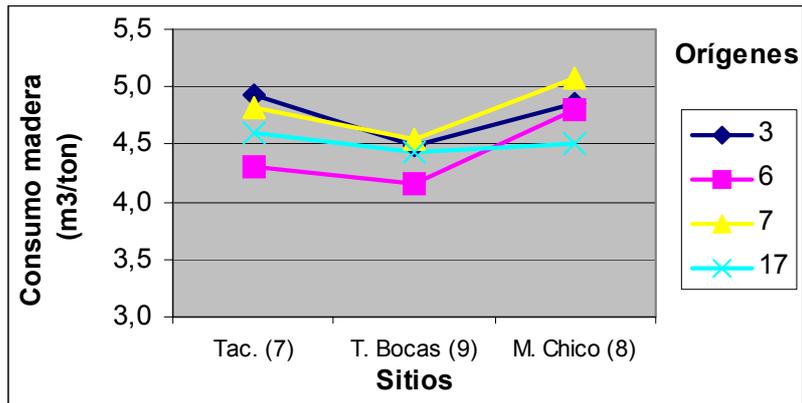


Figura 26. Consumo de madera de los orígenes de *E. grandis* comunes en los tres sitios

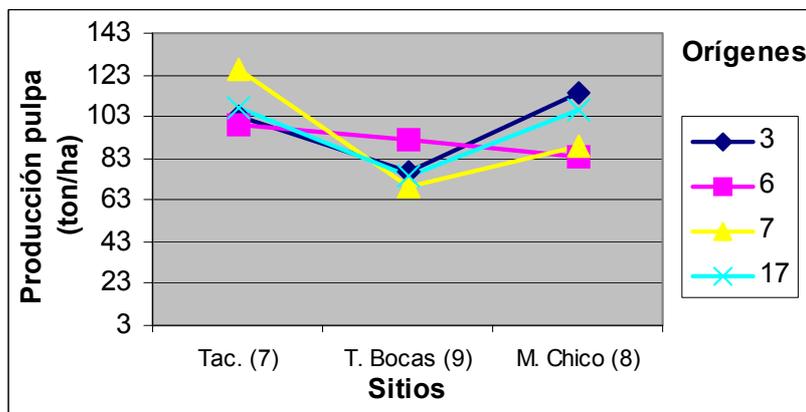


Figura 27. Producción de pulpa de los orígenes de *E. grandis* comunes en los tres sitios

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 28).

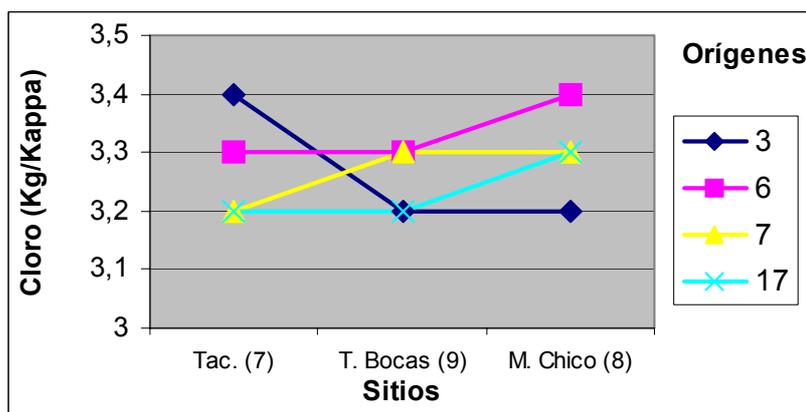


Figura 28. Requerimientos de cloro activo para obtener 90% de blancura con los orígenes de *E. grandis* comunes en los dos sitios

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 en la composición química de la madera de los materiales evaluados (Figura 29).
- Los valores de densidad y el rendimiento son independientes probablemente por razones similares a las mencionadas para el caso de *E. maidenii* (Figura 30).
- 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 31).

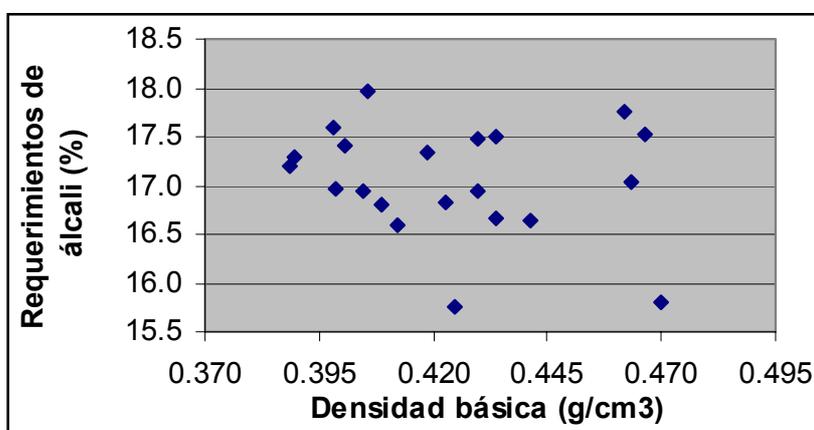


Figura 29 Relación entre los valores de densidad básica y requerimientos de álcali para todos los orígenes de *E. grandis* evaluados.

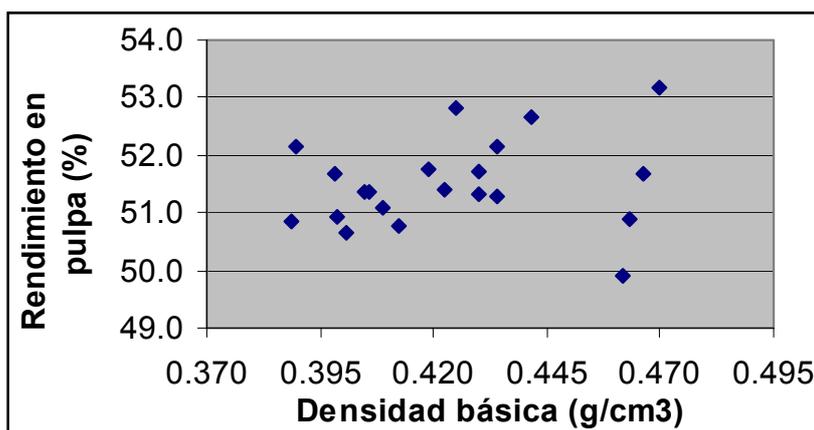


Figura 30. Relación entre los valores de densidad básica y rendimiento en pulpa para todos los orígenes de *E. grandis* evaluados.

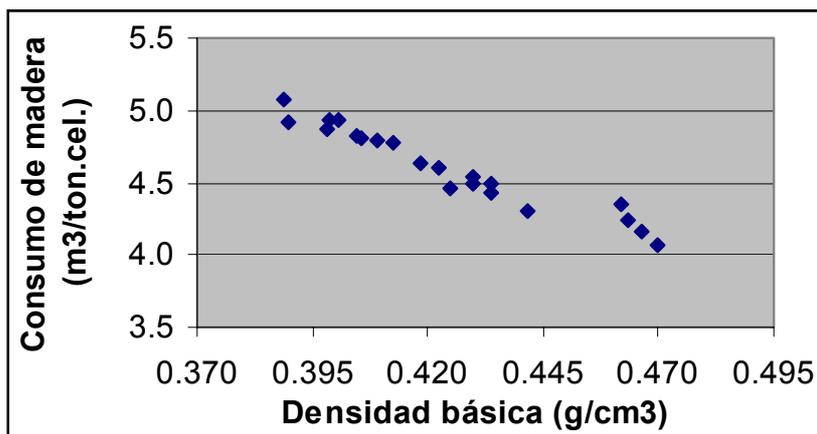


Figura 31. Relación entre los valores de densidad básica y consumo de madera para todos los orígenes de *E. grandis* evaluados.

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" y 5 "15 Km Near Coff Harbour" y 8 "Near Coff Harbour".

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 para obtener niveles de blancura de 90% presentan una menor variación para todos los orígenes que la determinada para *E. globulus* y *E. maidenii*. 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/ Δ Kappa para todos los orígenes evaluados.

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 32). 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 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 33). La variación observada en los valores de requerimientos de cloro activo/ Δ Kappa 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.

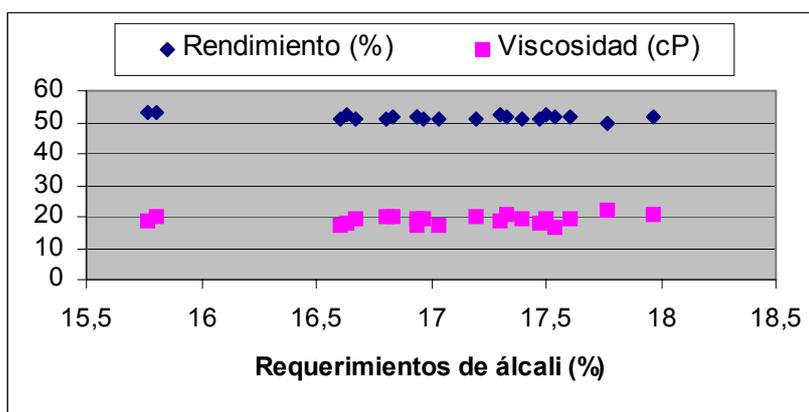


Figura 32. Relación entre el requerimiento de álcali activo, rendimiento y viscosidad de la pulpa para los orígenes de *E. grandis* en los tres sitios.

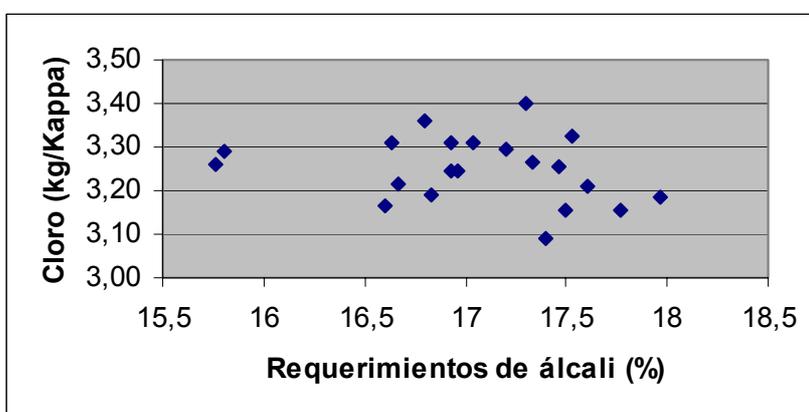


Figura 33. Relación entre el requerimiento de álcali activo y cloro activo para obtener 90% de blancura para los orígenes de *E. grandis* en los tres sitios.

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, menor requerimiento 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 ha. 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 ha. 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 ha. 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.

Ocurre un deterioro de los parámetros del pulpeo con un incremento de la edad de los árboles.

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 predictor 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.

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. Este sitio también se obtienen los mayores valores de productividad de pulpa por ha. destacándose los orígenes de la región de Bolaro Mountain.

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

Desde el punto 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 ha. son obtenidos en el ensayo instalado en la zona 7.

Para las tres 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 *E. globulus* y *E. maidenii*. El sitio afecta en mayor medida a las propiedades pulpables de *E. globulus* y *E. maidenii* que a *E. grandis*.

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

Para *E. globulus* y *E. maidenii* 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.

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. Y ALTIER, N. Potencial del Mejoramiento genético para el manejo de enfermedades en *Eucalyptus globulus*. Serie Técnica N° 143. INIA Tacuarembó – INIA Las Brujas. Agosto 2004. 44p.

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.

FOELKEL, C.E.B., Mora y Menochelli, 1990. **Madeira do Eucalipto: da floresta ao digestor.** Belo Oriente: CENIBRA, 1978. 25 p.

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
- 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.
- 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.