

PROPIEDADES DE LA MADERA Y LA PASTA DE VARIAS FUENTES DE SEMILLA DE *Eucalyptus grandis*

Fernando Resquin¹

INTRODUCCIÓN

E. grandis es la especie que ocupa el segundo lugar a nivel nacional en cuanto a la superficie plantada. En los departamentos de Tacuarembó y Rivera, que poseen un área plantada de aproximadamente 60.000 ha, la mayor parte de la madera producida con esta especie se destina para usos sólidos. En estos sistemas de producción, si bien el objetivo principal es la producción de madera aserrada y/o tableros, el producto de los primeros raleos se utiliza para la producción de celulosa.

Por otro lado, existen otros emprendimientos forestales que actualmente están comenzando a plantar esta especie a partir de la construcción de las plantas de celulosa en la región del litoral. Esta alternativa de procesamiento de la madera ha tornado atractiva la producción de madera de *E. grandis* teniendo en cuenta las distancias de los sitios de plantación a las plantas de producción sumado al hecho de las buenas propiedades pulperas de esta especie.

Desde el punto de vista de sus propiedades *E. grandis* se destaca por producir un papel de alta resistencia mecánica además de buena aptitud para la fabricación de papeles de impresión y escritura (Barrichelo y Brito, 1976; Backman y García de León, 2003). Para el productor de pulpa esta especie posee la ventaja de alcanzar altos niveles de producción de pulpa por hectárea determinado por su mayor crecimiento comparado con el resto de las especies comerciales utilizadas en el país.

A pesar de lo expuesto, existen factores que determinan importantes diferencias en la calidad de la celulosa obtenida tal como la fuente de semilla (origen). En función de esto el PNF ha realizado evaluaciones de varias fuentes de semilla en el marco de un plan de mejoramiento genético para esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se extrajeron muestras de un ensayo de evaluación de orígenes y progenies de la red de ensayos del PNF. De todos los orígenes en evaluación se eligieron aquellos que obtuvieron un crecimiento superior a la media. En los Cuadros 1 y 2 se presentan las principales características del ensayo y la lista de los materiales genéticos evaluados.

La mayoría de los materiales evaluados en cuanto a las propiedades pulperas provienen de la región de Coffs Harbour en el estado de Nueva Gales del Sur (Australia).

Cuadro 1. Principales características del ensayo.

E 21	
Lugar	INC, (Tacuarembó)
Suelo	7.2
Laboreo	Surcador
Fecha de plantación	Set. 1993
Distancia de plantación	4 x 2m
Densidad	1250 arb/ha
Diseño experimental	Bloques al azar con 10 rep.
Tamaño de la parcela	10 plantas en línea

¹Ing. Agr. M.Sc., Programa Nacional Producción Forestal, INIA Tacuarembó. fresquin@tb.inia.org.uy



Cuadro 2. Lista de fuentes de semilla evaluadas.

Código	Origen	Latitud	Longitud	Altitud
2	Orara W. C. Harbour.NSW	30.15	153.00	105
3	NW C. Harbour. NSW	30.06	153.05	290
4	16 km. N.C. Harbour.NSW	30.09	153.07	120
5	15 km. N.C Harbour. NSW	30.10	153.07	100
6	Near C. Harbour. NSW	30.05	153.01	300
7	Near C. Harbour. NSW	30.14	153.05	200
8	Near C. Harbour. NSW	30.13	153.02	130
10	Near C. Harbour. NSW	30.24	153.00	150
17	Wedding Bells SF. NSW	30.10	153.07	100
16	Huerto semillero C. Harbour. NSW	30.08	153.07	100

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

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

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

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

Previa 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 condicio-

nes 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_2O) variable

Una vez obtenidas las pulpas se determinó:

- rendimiento depurado (Rd)
- proporción de rechazo (Norma TAPPI T 204 om 88)
- índice Kappa (Norma TAPPI T-236 om 85-1998)
- consumo específico de madera (C.E.)
- tenor de sólidos secos por tonelada de celulosa (Tss)

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

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

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

Con el valor de volumen por há, la densidad básica y el rendimiento depurado fueron estimados los valores de producción de pulpa por 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 elemental (ECF) del tipo OD₀(E_p)D₁P según se detalla en el Cuadro 3.

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 intrínseca (Norma TAPPI T 230 om 89)

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

- Gramaje (Norma Tappi T 220 sp 01)

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

Para las variables proporción de corteza, densidad básica, requerimientos de álcali activo, rendimiento en pulpa, proporción de rechazo, consumo específico y tenor de sólidos por tonelada de celulosa 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

En el Cuadro 4 son presentados los datos de volumen, IMA y proporción de corteza de los orígenes evaluados al décimo año. El análisis de los datos indica que existen diferencias significativas entre orígenes solo para la variable proporción de corteza. En general todos los materiales tienen buenos crecimientos pero los valores más altos son obtenidos por los orígenes 2 "Orara W. C. Harbour" y 7 "Near C. Harbour" con un IMA sin corteza de 59.6 y 58.5 m³/ha/año. También existe un grupo de orígenes de la región de Coff Harbour que alcanzan altos valores de crecimiento con IMAs de 50 a casi 53 m³/ha/año. De estos datos surge que en la región de Coff Harbour existe una importante variación en cuanto al crecimiento

Cuadro 3. 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		
D ₀	12	70-75		1			1			
E _p	12	85-90		2	0.5	1.3		0.5	3.5	0.5
D ₁	12	70		2			0.5			
P	10	70		2.5	0.4	0.5				

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

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

de los materiales lo cual resalta la importancia de la correcta elección de la fuente de semilla a usar. Los valores de proporción de corteza varían desde 10.9% (origen 4 "16 km. N.C. Harbour") a 13.5% (origen 6 "Near C. Harbour").

El análisis de los resultados del pulpeo muestra que existen diferencias significativas entre orígenes para las variables requerimiento de álcali activo y rendimiento en pulpa (Cuadro 5).

El valor más alto de requerimiento 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%. Los requerimientos de álcali activo y rendimiento en pulpa no muestran ninguna relación definida. Los valores de rechazo son bajos e iguales para todos los materiales.

El análisis de varianza detecta diferencias significativas entre orígenes para las variables densidad básica, consumo de madera y tenor de sólidos (Cuadro 6). 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

Cuadro 5. Resultados del pulpeo de los orígenes de *E. grandis*.

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

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

Cuadro 6. 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)
2	0.398bc	4.9a	123	1.9a
3	0.390c	4.9a	103	1.8bc
4	0.419abc	4.6ab	111	1.8abc
6	0.441a	4.3b	99	1.7c
7	0.406bc	4.8a	125	1.8ab
10	0.405bc	4.8a	111	1.8ab
17	0.423ab	4.6ab	107	1.8ab

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

de madera muestran que los más bajos corresponden a los orígenes 6 "Near C. Harbour", 17 "Wedding Bells SF" y 4 "16 km N.C. Harbour" con valores de 4.3, 4.6 y 4.6 m³/ton.cel. asociados a los altos valores de densidad. La producción de pulpa por há refleja directamente las diferencias observadas en el crecimiento destacándose los orígenes 2 "Orara W. C. Harbour" y 7 "Near C. Harbour" con 125 y 123 ton/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.

Los resultados de los parámetros del blanqueo de estos orígenes son presenta-

dos en el Cuadro 7. Los valores obtenidos muestran que todos los orígenes son muy similares en cuanto a su blanqueabilidad expresada en términos de consumo de cloro y grado de blanco obtenido. Los valores de viscosidad obtenidos son altos en todos los casos y por lo tanto no limitantes para las propiedades de resistencias de las pulpas.

Analizando los resultados del Cuadro 8 se observa que los materiales de mayor densidad requieren mayores niveles de energía de refinado para lograr un determinado grado de entrelazado de las fibras. En este sentido se destacan los orígenes 2 "Orara W. C. Harbour" y 3 "NW C. Harbour" con la mayor capacidad de desarrollar valores próximos a 25 °SR. Los valores de resisten-

Cuadro 7. 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)
2	58.3	3.3	19.2	90.0
3	58.3	3.4	18.8	91.1
4	58.3	3.3	21.0	90.8
6	58.3	3.3	18.0	90.5
7	58.3	3.2	20.7	91.6
10	58.3	3.3	17.4	91.3
17	58.3	3.2	20.2	90.5

Cuadro 8. Resultados de propiedades mecánicas de los orígenes de *E. grandis*.

Orígenes	Número de revoluciones (rpm)	Grado de refinó (°SR)	Índice de tracción (N.m/g)	Índice de estallido (kPa.m ² /g)	Índice de rasgado (mN.m ² /g)
2	1400	23	82.6	6.2	9.2
3	1550	23	76.1	5.9	10.3
4	1800	23	83.0	6.0	10.0
6	2250	24	78.5	6.3	10.8
7	2000	25	78.4	6.0	9.9
10	2050	25	84.3	6.5	10.1
17	2250	27	83.7	6.8	10.4

cias son similares para todos los orígenes evaluados. Las resistencias a la tracción y al estallido de las pulpas muestran una baja relación con la densidad de la madera.

CONCLUSIONES

De los orígenes evaluados el 6 "Near C. Harbour" combina una alta densidad y rendimiento lo cual se traduce en el material que presenta el menor consumo de madera por tonelada de celulosa producida.

Considerando los crecimientos, los orígenes 2 "Orara W. C. Harbour" y 7 "Near C. Harbour" son los que alcanzan los mayores niveles de productividad de pasta por hectárea.

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

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.

BIBLIOGRAFÍA

- BACKMAN, M.; GARCIA DE LEON, J.** 2003. Correlations of pulp and paper properties at an early age and full rotation age of five eucalyptus species. Lisboa: EUCEPA. 9 p.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.** 1976. Potencialidade de espécies tropicais de Eucalipto para a produção de celulose sulfato branqueada. IPEF, Piracicaba, no.13, p. 9-38.