



TENSIONES DE CRECIMIENTO, PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y DEFECTOS EN TABLAS DE CLONES PUROS E HÍBRIDOS DE *Eucalyptus grandis* DEL INTA

Juan A. LÓPEZ (h.)¹, Ciro A. MASTRANDREA², Augusto J. LÓPEZ¹, Mariano A. HERNANDEZ¹, Matías S. MARTÍNEZ², G.P. Javier OBERSCHELP² y Leonel HARRAND²

1. TENSIONES DE CRECIMIENTO. ORIGEN Y VARIABILIDAD A NIVEL DE ESPECIES Y CLONES

Las rajaduras o grietas en los extremos de los rollizos y tablas se producen por la liberación de las tensiones de crecimiento. Dichas tensiones, según Kubler (1987) y Okuyama (1997) se generan durante el crecimiento y maduración de las células producidas por el cambium (fibras y vasos). Las mismas tienden a expandirse lateralmente y a contraerse longitudinalmente, sufriendo durante este proceso la resistencia de los tejidos más viejos. De esta manera se genera un conjunto de tensiones o de fuerzas mecánicas que actúan en sentido transversal y longitudinal, siendo las últimas las que mayores defectos producen en la madera.

Mientras el árbol está en pie, las tensiones mantienen un equilibrio a lo largo del tronco. Inmediatamente después del apeo, dichas tensiones comienzan a liberarse con lo cual, los tejidos que estaban bajo tracción tienden a contraerse longitudinalmente (periferia del tronco) y los que estaban bajo compresión (parte central del tronco) a expandirse longitudinalmente. Este reordenamiento origina, en primera instancia, rajaduras en los extremos de los rollizos y posteriormente, rajaduras y diversos tipos de alabeos (torceduras, encorvaduras, acanaladuras, arqueaduras) en las piezas aserradas (Jacob, 1959; Touza, 2001; Yang y Waugh, 2001, Malan, 2008).

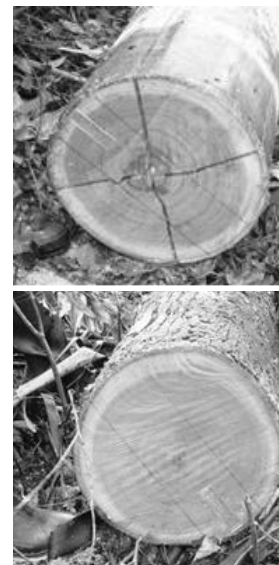
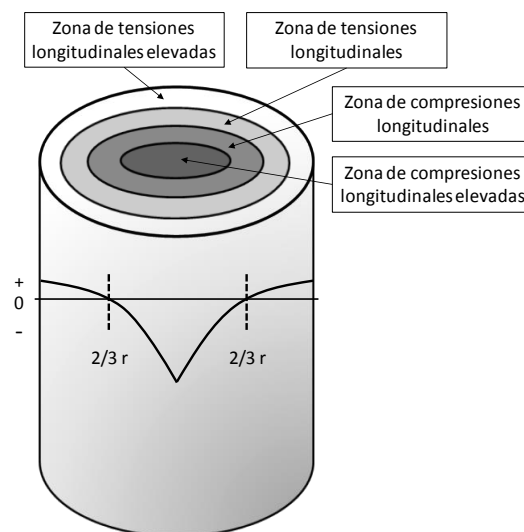


Figura 1. Distribución de las tensiones de crecimiento en equilibrio antes del apeo de acuerdo a la teoría de Kubler (1987). Rollizos de *Eucalyptus grandis* con bajo y alto IRr producto de la liberación de las tensiones de crecimiento.

La presencia de tensiones de crecimiento es un fenómeno común del género *Eucalyptus*, señalándose variaciones a nivel de especies y una gran variabilidad dentro de especies tal como se puede observar en los ejemplos consignados en la Figura 2 donde, para el caso de *E. dunnii* (evaluaciones realizadas en un ensayo de orígenes/progenies transformado en Huerto Semillero de Progenies) se registraron valores extremos del Índice de rajado en rollizos (IRr) desde 0,205 hasta 6,624 y para *E. grandis* (68 individuos seleccionados por crecimiento, forma y densidad de la madera)

¹ INTA EEA Bella Vista – lopez.juanadolfo@inta.gob.ar

² INTA EEA Concordia – mastrandrea.ciro@inta.gob.ar



el IRr varió entre 0,138 y 3,889. Consecuentemente los coeficientes de variación (CV%) fueron muy elevados (70,7% para *E. dunnii* y 89,5% para *E. grandis*) similar al observado en otras especies (Biachele *et al.*, 2009).

Dichos resultados evidencian una excelente oportunidad para seleccionar genotipos de alto crecimiento, forma y bajo IRr ya que, en ambos ejemplos mostrados, las correlaciones entre IRr y volumen no fueron significativas, indicando que sin pérdida de crecimiento es posible seleccionar individuos con bajo IRr. Esta posibilidad se ve fortalecida dado que el IRr es una propiedad que tiene un alto control genético (Schacht *et al.*, 1998; Blackburn *et al.*, 2011; López *et al.*, 2012; López *et al.*, 2016) con lo cual, es esperable un cambio significativo en la reducción de las tensiones de crecimiento aplicando estrategias convencionales de mejoramiento genético para obtener semilla mejorada. Sin duda, la propagación vegetativa de los mejores individuos para el desarrollo de forestaciones clonales de alto rendimiento, homogeneidad y calidad es una de las estrategias que mayores ganancias podría generar en especies con buena capacidad de enraizamiento.

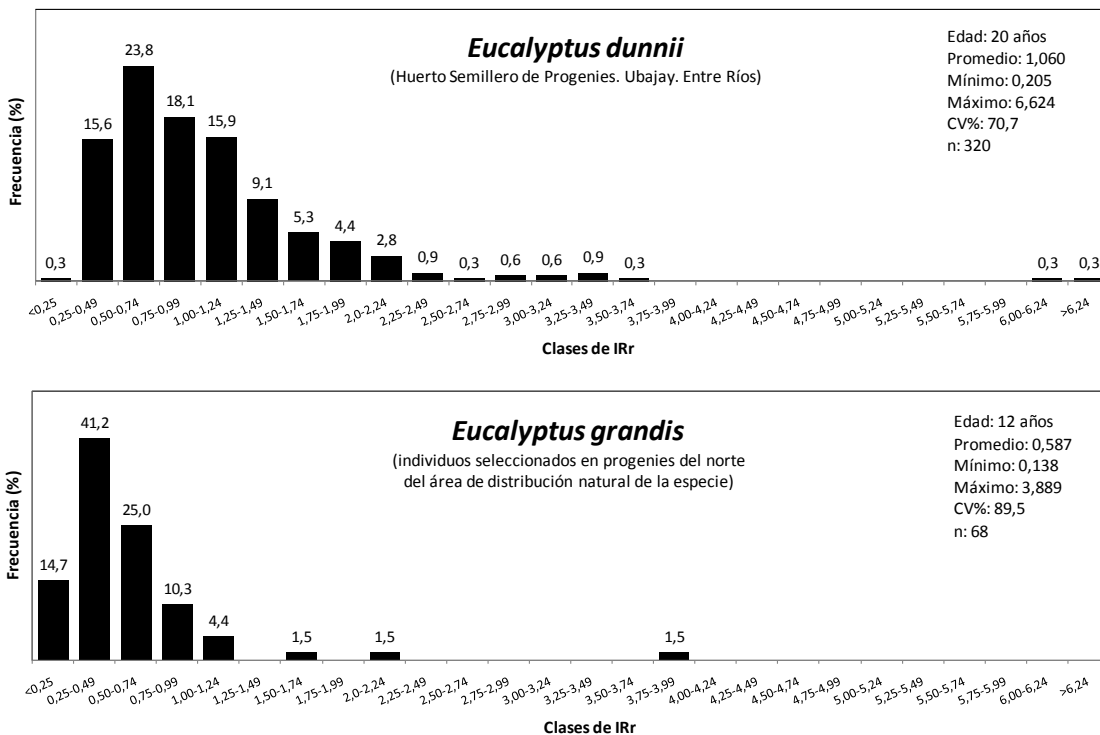


Figura 2. Frecuencias relativas por clases de IRr de *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis*.

Como se mencionó anteriormente, la clonación permite el aprovechamiento de un genotipo único, seleccionado entre muchos otros individuos por su superioridad en alguna propiedad de interés y la obtención de nuevos individuos con el mismo genotipo. Los miembros de ese clon exhibirán una tendencia a la uniformidad fenotípica y presentarán en general el mismo aspecto (velocidad de crecimiento, forma, calidad de la madera, etc.) o la misma tolerancia a una limitante biótica o abiótica.

Desde el punto de vista operacional las plantaciones monoclonales con clones puros o híbridos presentan mayor homogeneidad en crecimiento, forma del fuste, calidad de la madera, tolerancia a factores bióticos o abióticos. Esa reducción de la variación individual tiene fuertes connotaciones positivas en cuanto a la elección de la densidad de plantación, manejo silvícola, costos de aprovechamiento, transporte y fundamentalmente en la producción de materia prima con una calidad o una tolerancia más predecible.

En relación a lo antes comentado, en la Cuadro 1 se puede ver que la homogeneidad del IRr (medida a través del Coeficiente de Variación) entre rametos de un mismo clon es considerablemente mayor a la que existe entre individuos procedentes de fuentes semilleras mejoradas o seleccionadas que



fueron utilizadas como testigo. En promedio, el Coeficiente de Variación del IRr de los testigos de semilla fue de 52,3% (entre 47,4% y 56,2%) y el promedio de los clones de 18,4% (entre 16,4% y 19,5%). No obstante, en todos los casos se pueden ver clones con Coeficiente de Variación entre rametos menores al 10% y mayores al 25%. Esta cuestión podría ser atribuida a diferente calidad del sistema radical entre rametos y/o a que los muestreos se realizaron en ensayos con un diseño experimental de un solo árbol por parcela (STP) hasta con parcelas de 5 o 7 plantas en fila sin borduras que eviten la competencia intergenotípica y no parcelas o lotes de competencia monoclonal.

Cuadro 1. Coeficiente de variación (CV%) del IRr entre rametos de un mismo clon y entre individuos de fuentes semilleras testigos de *E. grandis* en ensayos evaluados en diferentes sitios y edades. En cada ensayo entre 4-6 ejemplares fueron evaluados utilizando la metodología sugerida por López *et al* (2009).

	IRr 8,5 años	IRr 9 años	IRr 11 años	IRr 14 años	IRr 14 años				
	Concordia (Entre Ríos)	Bella Vista (Corrientes)	Paso de los Libres (Corrientes)	Bella Vista (Corrientes)	Concepción del Uruguay (Entre Ríos)				
EG1	9,7	C01	13,3	FA9	22,1	C01	15,2	GC5	19,5
EG2	16,2	C02	17,7	FA13	13,5	C02	13,1	GC6	22,3
EG22	16,7	C18	16,4	FA35	16,2	C18	23,8	GC7	11,9
EG24	21,3	C22	20,8	FA36	21,2	C22	27,0	GC8	19,8
EG35	26,5	C24	24,0	FA50	16,4	C24	16,3	GC9	17,1
EG36	25,4	C27	16,6	FA51	20,9	C27	25,8	GC10	30,5
EG152	22,6	C30	9,5	FA54	14,5	C30	14,0	GC12	17,5
EG155	14,7	C33	27,1	FA56	18,2	C33	10,3	GC22	16,9
EG157	14,6	C36	15,6	FA58	8,9	C36	18,4	GC27	16,7
EG164	27,3	C37	20,5	FA66	15,2	C37	9,8	5-108	28,9
HSSA¹	53,2	C41	22,1	FA71	26,3	C41	10,3	GT31	22,1
---	---	C0B	17,6	FA77	18,6	C0B	12,5	GT32	20,1
---	---	RSSA²	47,4	FA78	24,6	---	---	GT42	8,6
---	---	---	---	FA79	12,2	---	---	GT37	16,5
---	---	---	---	FA80	25,8	---	---	GT44	20,7
---	---	---	---	---	---	---	---	5-130	19,6
---	---	---	---	---	---	---	---	GD1	13,2
---	---	---	---	---	---	---	---	EG36	21,6
---	---	---	---	---	---	---	---	EG157	23,7
---	---	---	---	---	---	---	---	HSP³	56,2
\bar{x} Clones	19,5	18,4	18,3	16,4	19,3				
Mínimo	9,7	9,5	8,9	9,8	8,6				
Máximo	27,3	27,1	26,3	27,0	30,5				

¹ Huerto Semillero de Sudáfrica, ² Rodal Semillero INTA Concordia (procedencia Sudáfrica), ³ Huerto Semillero de Progenies INTA (Ubajay). EG, C, FA: clones puros de *E. grandis*. GC y 5-108: clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*. GT y 5-130 clones híbridos de *E. grandis* x *E. tereticornis*.

2. TENSIONES DE CRECIMIENTO Y DENSIDAD DE LA MADERA DE CLONES PUROS E HÍBRIDOS DE *Eucalyptus grandis* AL 14º AÑO DE EDAD.

Entre 1998-2002 el Grupo de Mejoramiento de INTA EEA Concordia realizó los primeros cruzamientos controlados para la generación de progenies híbridas (F1) de *E. grandis* por *E. dunnii*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* y *E. globulus* (Harrand y Schenone, 2002). La selección de los individuos que dieron origen a los clones híbridos se encuentra descrita en Harrand (2005). En el año 2003 en la EEA del INTA de Concepción del Uruguay (E. Ríos) se instaló uno de los primeros ensayos constituido por 32 clones híbridos (*E. grandis* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E. tereticornis*, *E. grandis* x *E. dunnii*), 4 clones puros de *E. grandis* y 4 testigos de semilla (2 de *E. grandis*, 1 de *E. camaldulensis* y 1 de *E. tereticornis*). Los clones híbridos seleccionados para este estudio fueron elegidos por crecimiento, rectitud del fuste y sus antecedentes de mayor tolerancia al frío.



Al 6º año de edad en este ensayo y en los mismos materiales se evaluó una serie de propiedades incluyendo IRr y densidad de la madera (López *et al.*, 2016). Por ello, el objetivo principal de esta comunicación es presentar los resultados obtenidos al 14º año de edad en cuanto a densidad de la madera e IRr a un turno final de cosecha y verificar la capacidad predictiva de las evaluaciones realizadas a una edad juvenil con respecto a una edad de cosecha.

Cuadro 2. Índice de rajado en rollizos (IRr) y densidad de la madera al 6º y 14º año de edad. Concepción del Uruguay. Entre Ríos. (Lat: 32º 29'19" Sur, Long: 58º 21'02" Oeste).

Clones + HSP	IRr6	Clones + HSP	IRr14	Clones + HSP	Db6 ¹	Clones + HSP	Dn14 ²
GC27	0,575 a	GC6	2,248 a	5-130	550,9 a	GC6	769,6 a
GC6	0,534 ab	GC27	2,048 a	GC6	544,0 ab	GC27	761,1 a
5-130	0,521 ab	GC12	1,526 b	GC27	532,5 abc	5-130	748,7 ab
EG36	0,437 bc	GC22	1,504 bc	GC8	525,1 bcd	GT31	718,0 bc
GC9	0,386 cd	EG36	1,234 bcd	GT31	522,1 cd	GT44	711,5 bc
GC10	0,362 cd	GC7	1,229 bcd	GT37	520,2 cd	GC5	708,3 c
GC12	0,356 cd	GC9	1,152 cde	GT44	513,0 cde	GT37	708,1 c
EG157	0,355 cd	GC8	1,138 de	GC5	510,8 de	GC8	704,1 cd
HSP	0,342 cde	HSP	1,126 de	GC7	508,6 de	GC7	702,6 cde
GC5	0,329 de	EG157	0,879 def	GC9	503,3 de	GC9	682,9 cde
GC8	0,321 def	5-130	0,839 ef	GC12	496,2 ef	GC10	668,3 def
GC22	0,299 defg	GT31	0,836 ef	GT32	495,9 ef	GC12	654,0 ef g
GD1	0,246 efg	GC10	0,747 fg	GC10	476,6 fg	5-108	639,1 fg
GT37	0,223 fgh	GC5	0,734 fg	5-108	470,4 gh	GT32	636,9 fgh
GT31	0,205 gh	GD1	0,593 Fgh	GD1	464,7 gh	GC22	629,4 gh
GC7	0,202 gh	GT32	0,451 gh	GC22	452,6 hi	GD1	628,8 gh
GT32	0,195 h	GT37	0,435 gh	EG36	430,5 ij	EG36	599,5 hi
GT44	0,189 h	GT44	0,286 h	HSP	427,9 j	HSP	561,7 i
5-108	0,157 h	5-108	0,269 h	EG157	345,4 k	EG157	462,5 j
x	0,327	x	1,009	x	489,8	x	671,3

HSP: Huerto Semillero de Progenies INTA (Ubajay). EG: clones puros de *E. grandis*. GC y 5-108: clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*. GT y 5-130 clones híbridos de *E. grandis* x *E. tereticornis*.

¹ Densidad básica

² Densidad normal (12% CH)

Valores medios con igual letra no difieren a p<0,05 (prueba de t de Student)

En la Cuadro 2 se puede ver que entre el 6º y 14º año de edad todos los materiales evidenciaron un incremento del IRr. Si bien ese incremento fue variable, el nivel de tensiones de crecimiento tuvo diferenciales particulares y específicos ligados al genotipo. Dada la naturaleza del muestreo realizado, sería posible sospechar que algunos rametos pudieron tener algún efecto de competencia diferenciado, no obstante, en todas las edades de evaluación los ejemplares evaluados fueron seleccionados evitando situaciones de competencia asimétrica evidentes que pudieran distorsionar la expresión de las tensiones de crecimiento.

Una situación similar se puede observar en cuanto a la densidad de la madera. No obstante, cabe aclarar que al 6º año de edad se procesó la densidad básica de la madera y para el 14º año de edad se tomó la decisión de procesar la densidad aparente normal al 12% de humedad por ser la utilizada corrientemente a nivel comercial.

Por otro lado, tal como se observa en la Cuadro 2 en general los materiales evaluados mantuvieron su comportamiento relativo independientemente de las edades de evaluación y del incremento del IRr y la densidad de la madera. De hecho, sólo considerando a los clones puros e híbridos la correlación genética entre ambas edades fue de 0,73 para IRr y de 0,97 para densidad de la madera.

Esta información, desde el punto de vista del mejoramiento genético del IRr tiene una significativa importancia ya que, en la Mesopotamia Argentina la información local muestra que la selección indirecta por velocidad de crecimiento, rectitud del fuste o densidad de la madera es factible dado que las correlaciones genéticas aditivas juvenil-adulto son considerablemente altas (López, 1993; Harrand *et al.*, 2009). Según lo presentado en este trabajo, al mismo tiempo o a una edad juvenil muy similar



sería posible incluir la selección de genotipos sobresalientes por su bajo nivel de tensiones de crecimiento. No obstante, tal lo ya manifestado por López y López (2013) dado el incremento del IRr constatado entre edades de evaluación, la selección juvenil debería tener un grado de exigencia mayor a efectos de lograr una reducción significativa del IRr al turno de cosecha.

3. RESULTADOS DE RAJADO, DEFORMACIONES Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO EN TABLAS PROVENIENTES DE DOS ENSAYOS DE CLONES DE *E. grandis* E HÍBRIDOS

Durante los procesos de primera transformación de la madera y con posterioridad a su aserrado se producen pérdidas de material debidas a deformación excesiva. Tales deformaciones se ponen de manifiesto, sobre todo, durante el secado del material. El material deformado puede ser redimensionando a escuadrías menores o utilizado como base de productos de segunda transformación, pero, en ambos supuestos, se produce un incremento de costos de producción y una indeseable disminución de beneficios (Diez *et al.*, 2001).

Cuando la madera se seca por debajo del punto de saturación de las fibras, se manifiesta el fenómeno de la contracción (merma), caracterizado por una disminución de las dimensiones de la pieza. No obstante, este fenómeno no es uniforme en todas las direcciones, siendo mayor en la dirección tangencial (tangente a los anillos de crecimiento) que en la radial (perpendicular a los anillos de crecimiento). Las diferencias que se observan en los valores tomados por las contracciones en las diferentes direcciones, al perder humedad por debajo del punto de saturación de las fibras, son las principales causantes de las deformaciones de la madera. Este fenómeno puede ser limitado en su magnitud, aunque no eliminado por completo (Alvaro Noves, 1986).

Según Panshin y De Zeeuw (1984), citados por Diez (2001) se consideran como causas del mayor número de piezas deformadas en los lotes de madera, al tipo de madera (mayor deformación en frondosas que en coníferas), la especie y la variedad, así como la calidad de sitio (mayores deformaciones en calidades bajas). Álvarez Noves (1986) por su parte constata que en cualquier caso las deformaciones son cuantitativamente más importantes cuando se asierran árboles de pequeño diámetro que cuando se asierran árboles de gran grosor.

Según Diez (2001), diversos autores, revisados por Sierra de Grado *et al.* (1997,1999), coinciden en que las deformaciones son debidas a la marcada anisotropía del material (contracción desigual durante el secado, reparto desigual de humedad dentro de la madera, tensiones producidas por el secado) y sus singularidades tales como: nudos, desviaciones de fibras, presencia de maderas de reacción o juvenil, etc., pero no determinan una causa con influencia clara en la deformación de las piezas aserradas.

Las tensiones de crecimiento se encuentran en todas las especies forestales, siendo en algunas latifoliadas considerada como el defecto estructural más importante. Según Malan (1995) y Waugh (1998) el alto nivel de las tensiones de crecimiento de los eucaliptos es considerado uno de los mayores problemas para uso sólido, causando problemas tecnológicos y pérdidas financieras en madera redonda y aserrada (Caniza, 2006; Hernández 2014).

Conforme a lo establecido por Lima *et al.* (2004), las tensiones de crecimiento son fuerzas que actúan naturalmente sobre los tejidos de los árboles, de forma de mantenerlos íntegros y erectos, garantizando su resistencia a la ruptura mecánica y a la flexión del tronco, generando así resistencia contra la incidencia de los vientos. Los efectos de las tensiones de crecimiento pueden ser observados en las trozas después del volteo y principalmente, en las tablas durante el aserrado. El resultado de esas tensiones, sumadas a las pérdidas producidas en el secado, se reflejan en una disminución del rendimiento en madera aserrada que, puede ocasionar grandes pérdidas y tornar inviable la entrada de madera sólida de eucalipto al mercado de madera aserrada.

La liberación de las tensiones de crecimiento post volteo causan defectos como rajaduras, deformaciones o alabeos; medula blanda o débil; acebolladuras y grietas (Gerard, 1992; Vignote *et al.*, 1996; Raymond *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2009; Valencia *et al.*, 2011; Monteoliva *et al.*, 2014).

Múltiples serían los factores que afectan los niveles de tensiones de crecimiento de los árboles en una plantación, pero su influencia no se encuentra del todo clara. Se pueden nombrar la edad, tamaño de los árboles, efecto de los vientos, raleos, podas, densidad de plantación, estado de competencia entre árboles (Kubler, 1987; Vignote *et al.*, 1996). Para *E. dunnii*, Murphy *et al.* (2005) han determinado la influencia de la relación altura/diámetro sobre las tensiones de crecimiento. También se ha reportado la influencia del tamaño de los árboles (medidos como diámetro y volumen) y la edad sobre las tensiones en estudios realizados en España sobre *E. globulus*. Estableciendo una



relación inversa, es decir que a mayor edad y diámetro disminuyen las tensiones medidas como indicador de tensiones de crecimiento (GSI, CIRAD-Forêt). La altura total del árbol y el volumen de copa no afectaron las medidas de GSI (Vignote *et al.*, 1996; Monteoliva *et al.*, 2014).

Otros autores además han determinado que las pérdidas atribuibles a tensiones de crecimiento en el aserrado dependen del sistema de corte utilizado. Un sistema de corte paralelo con una sola sierra induce a que las tensiones de crecimiento se manifiesten intensamente, causando el rajado casi completo de las tablas. Otros sistemas de corte, como los sistemas de corte masivo o simultáneos, se utilizan como alternativa para minimizar el efecto de las tensiones de crecimiento (Hernández *et al.*, 2014).

El uso correcto de la madera requiere del conocimiento de sus características anatómicas y de sus propiedades físicas y mecánicas. La caracterización mecánica de piezas de madera, a través de su rigidez, expresada por su módulo de elasticidad es de gran importancia en las aplicaciones constructivas de la madera especialmente en el dimensionado de las piezas según su resistencia y deformación.

Por todo lo antes dicho, la evaluación de las pérdidas de rendimiento por tensiones de crecimiento y de secado y sus causas, cobra gran relevancia para conocer la aptitud de los nuevos materiales genéticos desarrollados por los planes de mejora, principalmente cuando se quiere obtener tablas de calidad.

En una experiencia reciente, y para profundizar el trabajo realizado previamente a nivel de rollizos, se caracterizaron tablas de aserrado de los clones EG157, EG36, GC8, GC24, GC27 y HSP de INTA, para de conocer sus aptitudes para diferentes usos industriales. Se evaluaron: rajado en tablas, módulo de elasticidad dinámico (MOEd) y deformaciones u alabeos (arqueado-combado, encorvado; abarquillado, revirado). Con estos datos fue posible cuantificar las pérdidas producidas a causa de las rajaduras en los extremos de las tablas, ya sea en forma de pérdida de m³ (*M3perdida*) o de m³ libres de rajaduras en tablas (*M3 s/rajad*). El material provino de 2 ensayos, ubicados en Concepción de Uruguay, Entre Ríos y Leandro N. Alem, Misiones, de 14 y 7 años de edad respectivamente al momento del muestreo. Los marcos de plantación establecidos fueron de 4m x 2,5m (1000 pl/ha) en ambos sitios. El estudio se efectuó sobre 444 piezas de aproximadamente 1" espesor por anchos variables (entre 7 y 15cm en Entre Ríos y entre 10 y 16cm en Misiones) y largo de 2,50m que se obtuvieron del procesado de los rollizos con sierra sin fin y múltiple, esquema comúnmente utilizado en la zona. Los rollizos empleados del sitio de Entre Ríos, fueron los mismos empleados para las determinaciones mencionadas en la sección anterior (IR en rollizos).

Para el análisis de rajado y deformaciones se analizaron 271 tablas provenientes de 18 rollos en el caso del ensayo de Entre Ríos y 173 tablas provenientes de 34 rollos en el caso de Misiones. En todos los casos se realizó secado al aire, bajo techo, y al momento de la medición la humedad relativa (H%) promedio de las tablas analizadas fue de 15,3% y 17,8% para cada sitio. De las 271 tablas de Entre Ríos 55 (20%) presentaron médula, mientras que, para Misiones, 90 tablas (52%) de las 173 tablas analizadas, característica probablemente asociada a la edad de las plantaciones.

Cuadro 3. Diámetros medios en centímetros para los Rollos 1 (primer rollo desde la base) y 2 (segundo) de los sitios analizados

Rollo	HSP		EG36		EG157		GC27		GC8		GC24	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Entre Ríos	26,6	25,2	25,6	23,9	27,6	26,6	26,1	24,4	25,4	24,1		
Misiones	21,0	20,0	23,2	21,7	22,2	21,0	21,4	19,9			20,1	19

El rajado fue medido en cada uno de los extremos de las tablas con cinta métrica, mientras que las diferentes deformaciones u alabeos fueron medidos con calibre digital según lo establecido por la Norma Panamerica COPANT 746 (1975). Por otro lado, el análisis del MOEd se realizó utilizando métodos no destructivos por sonido (Portable Lumber Grader "PLG" – Fakopp), analizando 131 tablas de Entre Ríos y 172 tablas de Misiones.

Los análisis estadísticos se realizaron con el software INFOSTAT v.2018 (Di Rienzo *et al.* 2011), utilizando el módulo MLGM. El modelo de correlación utilizado fue de errores independientes. Para la comparación de medias se utilizó Bonferroni con un nivel de significancia del 0,05.



3.a. RAJADO EN TABLAS

Ambos ensayos mostraron valores diferentes para rajado en tablas, indicando un fuerte efecto ambiental, en este caso atribuible a las diferentes edades de los ensayos. El sitio de Entre Ríos, con árboles de mayor edad presentó mayores valores de rajado, sugiriendo un efecto de la edad, como lo ya presentado para los defectos en las trozas en la sección anterior.

Si bien presentó una mayor variación, las tablas del material de semilla (HSP) presentaron un buen comportamiento en ambos sitios, con bajos porcentajes de pérdida. En el caso de los clones, para cada sitio se observaron clones con igual o mejor comportamiento al HSP, como EG157, GC8 y GC24 y clones de comportamiento inferior, como GC27 y EG36 (Figura 3).

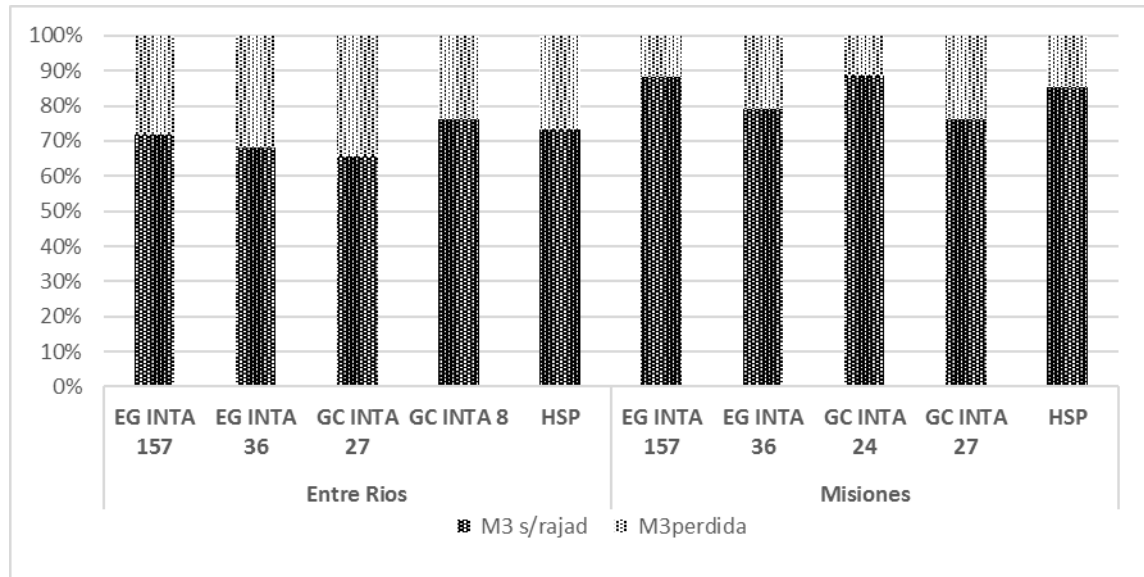


Figura 3. Porcentaje de m³ libres de rajadura (M3s/rajad) y m³ perdidos (M3Perdida) por rajado en tablas.

La presencia de médula en las tablas fue determinante para el rajado, y al analizar las pérdidas por causa del rajado para ambos sitios, se encontró que las tablas con presencia de médula obtuvieron valores mayores para ambos sitios. Tal es su efecto que las tablas con médula rajaron más y no se diferenciaron entre clones para el sitio de Entre Ríos. Para las tablas libres de médula, las diferencias también son mínimas, donde GC8 tuvo menores pérdidas por rajado que EG36; GC27 y EG157, pero no se diferenció de HSP (Figura 4). Además EG36; GC27 y EG157 no se diferenciaron entre ellos.

Para el sitio de Misiones, tanto en las tablas con presencia de médula como las que no presentaron médula se observa que el clon GC24, es claramente superior al EG36 y el GC27, pero no al resto de los materiales, que en todos los casos para este ensayo, no se diferenciaron de HSP (Figura 5).

Hernandez *et al.*, (2014) reportan que las pérdidas en volumen de madera verde a causa de las rajaduras en *Eucalyptus dunnii*, fueron responsables del 5,48% de pérdida sobre el volumen total de tablas producido y de un 2,42% del volumen de rollizos procesados. Este mismo autor cita un trabajo de Washusen *et al.* (2009) donde para *E. nitens* reporta pérdidas en el volumen de las tablas verdes debido a rajaduras de cabeza variaron entre 4,2% y el 9,5% del volumen de las tablas tangenciales verdes según el sistema de corte utilizado.

No obstante, estos defectos se magnifican con el secado, más aún si este se realiza al aire, como en la mayoría de los pequeños y medianos aserraderos de la región (Mastrandrea *et al.* 2010). Entre todas las fases del procesamiento de la madera, el secado es la mejor manera de agregar valor al producto. Este proceso es lento y difícil para los eucaliptos debido a su baja permeabilidad, principalmente en el duramen, que es responsable de un fuerte gradiente de humedad y la consecuente formación de tensiones de secado, causando grietas y deformaciones (Severo *et al.* 2013). En este sentido, en un ensayo de especies de eucalipto de 16 años de edad, Mastrandrea *et al.*, 2014 reportan en tabla secas pérdidas de 27,4% para *E. dunnii*; 22,7% en *E. saligna*; 20,5% para *E. camaldulensis*; 17,2% en *E. benthamii* y 10,9% en *E. dorrigoensis*, sensiblemente mayores a valores en tablas verdes.

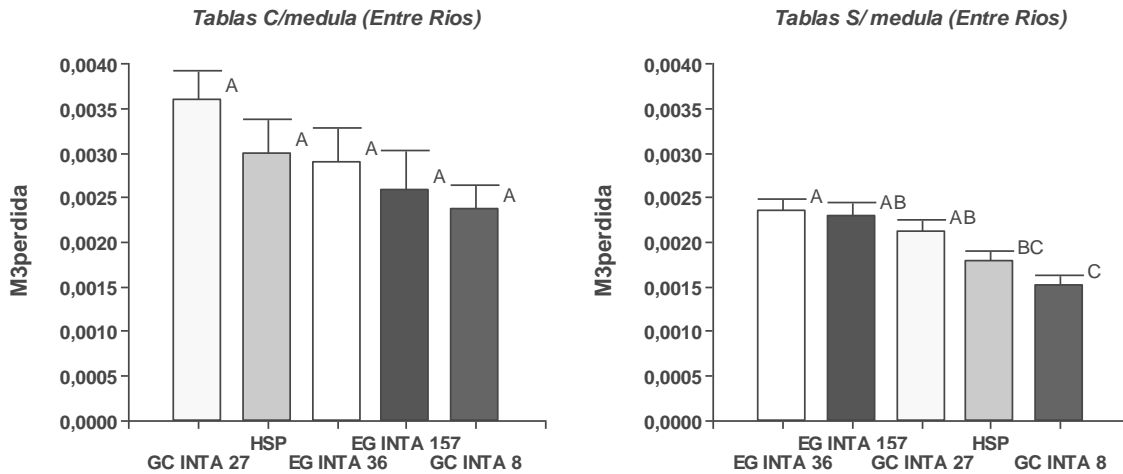


Figura 4. Pérdidas a causa de rajaduras en tablas con y sin presencia de médula para el sitio de Entre Ríos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

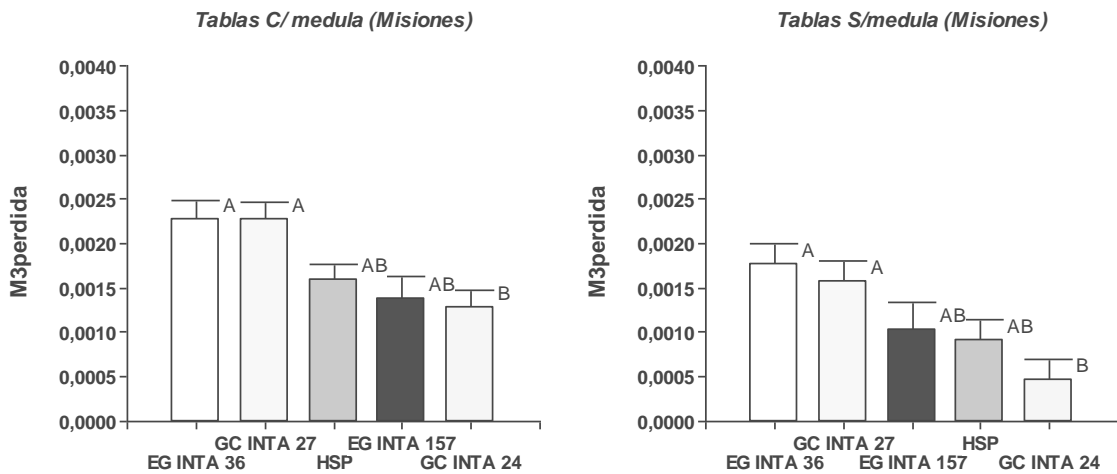


Figura 5. Pérdidas a causa de rajaduras en tablas con y sin presencia de médula para el sitio de Misiones. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

3.b. COMBADO

Tanto el combado como el encorvado se pueden producir cuando existe una diferencia en la contracción longitudinal de las caras o de los cantos opuestos de una tabla. La madera juvenil se contrae longitudinalmente más que la adulta, en especial en especies de crecimiento rápido. Otro tanto ocurre en la madera de reacción; como así también la desviación de las fibras sobre los cantos o las caras de las tablas, puede causar una contracción longitudinal desequilibrada y, por tanto, el curvado. Esta fuente de desviación puede deberse a un nudo el cual provoca una desviación localizada (Alvares Noves, 1986).

No se encontraron diferencias significativas entre materiales genéticos para combado en tablas con médula, en ambos sitios (Cuadro 4). Para las tablas sin médula, en el sitio de Entre Ríos el EG157 fue el que presentó menores valores de combado diferenciándose significativamente de GC8 y EG36, pero no del resto de los materiales. Para Misiones, EG157 y HSP se diferenciaron significativamente de EG36 y GC24 quienes presentaron mayores valores de combado.

3.c. ENCORVADO

En el Cuadro 5 se puede observar que no existieron diferencias significativas para encorvado en tablas con médula, entre materiales genéticos en ambos sitios. Para las tablas sin médula se puede observar que solo en el caso de Entre Ríos se observaron diferencias significativas, encontrándose estas diferencias entre EG157 que presentó los menores valores de encorvado y GC8 que obtuvo los



mayores valores de encorvado. En Entre Ríos, EG157 presentó valores más bajos de encorvado que los otros materiales, mientras que en el caso de Misiones los valores más bajo los presentó HSP, pero con el mayor coeficiente de variación.

Cuadro 4. Número de muestras; media; diferencias significativas, error estándar (EE) y coeficiente de variación (CV) para combado de tablas por sitio y por presencia o ausencia de médula. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Sitio	Material genético	c/ médula			s/médula				
		n	Media (mm)	CV (%)	n	Media (mm)	CV (%)		
Entre Ríos	HSP	9	8,10	a	69,26	55	10,10	ab	58,34
	EG36	9	7,17	a	35,77	35	11,43	a	46,12
	EG157	7	5,24	a	79,04	34	6,96	b	65,80
	GC27	12	10,62	a	33,01	39	10,53	ab	51,29
	GC 8	18	5,52	a	66,62	53	11,69	a	50,90
Misiones	HSP	21	10,93	a	48,82	18	13,78	b	45,48
	EG36	16	7,20	a	86,65	18	21,11	a	24,73
	EG157	11	8,25	a	48,21	11	12,73	b	28,66
	GC27	20	7,77	a	95,89	19	19,01	ab	41,46
	GC24	22	9,25	a	94,95	17	20,00	a	29,13

Cuadro 5. Número de muestras; media; diferencias significativas, error estándar (EE) y coeficiente de variación (CV) para encorvado de tablas por sitio y por presencia o ausencia de médula. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Sitio	Material genético	c/ médula			s/médula				
		n	Media (mm)	CV (%)	n	Media (mm)	CV (%)		
Entre Ríos	HSP	9	10,07	a	45,94	55	6,81	ab	68,51
	EG36	9	10,81	a	74,19	35	7,54	ab	73,03
	EG157	7	4,76	a	91,71	34	4,54	b	65,41
	GC27	12	6,35	a	29,14	39	7,38	ab	65,27
	GC8	18	7,77	a	67,80	53	7,86	a	48,50
Misiones	HSP	21	4,29	a	71,85	18	1,61	a	157,2
	EG36	16	6,32	a	50,19	18	3,04	a	110,9
	EG157	11	4,51	a	23,66	11	2,35	a	79,56
	GC27	20	6,11	a	66,35	19	2,73	a	133,5
	GC24	22	4,13	a	62,68	17	2,17	a	110,2

3.d. ABARQUILLADO

Una de las causas que producen el abarquillado en tablas y tablones es la mayor contracción tangencial con respecto a la radial. Las tablas obtenidas de las partes más externas de los troncos gruesos presentan anillos de crecimiento con relativamente poca curvatura, lo que da lugar a que se abarquillen menos que las tablas procedentes de las partes más internas o de troncos delgados, en los cuales la curvatura de los anillos de crecimiento es más pronunciada. La superficie cóncava del abarquillado se presenta en la cara más cercana a la corteza del árbol. (Alvares Noves. 1986)

En el Cuadro 6 se puede observar que para Misiones se obtuvieron valores menores de abarquillado como así también en general para las tablas sin presencia de médula. Tanto para Entre Ríos como para Misiones se observan diferencias significativas entre materiales en tablas con médula y sin médula.

En el caso de Entre Ríos y para tablas con presencia de médula se observa que EG157 presentó los menores valores de abarquillado diferenciándose significativamente del resto de los materiales, salvo el material seminal; por otro lado, GC27 junto a GC8 presentaron los mayores valores de abarquillado diferenciándose significativamente del material seminal y de EG157, pero no así de EG36. En el análisis de tablas sin presencia de médula se observa que HSP obtuvo los menores valores de abarquillado diferenciándose significativamente de GC27 y de GC8, que obtuvieron los mayores valores de abarquillado, pero no del resto de los materiales.

En el caso de Misiones y en tablas con presencia de médula, solo se diferenciaron significativamente GC27 que presentó el mayor valor de abarquillado y GC24 que presentó el menor valor, mientras que para las tablas sin médula el GC24 se diferenció del resto de los materiales exceptuando a EG157 que a su vez no se diferenció del HSP, pero sí de GC27 y EG36.



Cuadro 6. Número de muestras; media; diferencias significativas, error estándar (EE) y coeficiente de variación (CV) para abarquillado de tablas por sitio y por presencia o ausencia de médula. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sitio	Material genético	c/ médula			s/médula				
		n	Media (mm)	CV (%)	n	Media(mm)	CV (%)		
Entre Ríos	HSP	9	2,81	bc	56,15	55	2,40	c	77,53
	EG36	9	4,26	ab	22,18	35	3,46	abc	47,78
	EG157	7	1,95	c	52,58	34	2,91	bc	44,84
	GC27	12	5,19	a	31,45	39	4,47	a	47,18
	GC8	18	4,70	a	24,27	53	3,95	ab	54,09
Misiones	HSP	21	1,01	ab	139,8	18	1,91	ab	86,3
	EG36	16	1,61	ab	101,4	18	3,18	a	43,56
	EG157	11	1,20	ab	119,3	11	0,82	bc	154,5
	GC27	20	2,02	a	155,3	19	2,64	a	77,8
	GC24	22	0,32	b	224,2	17	0,22	c	225,4

3.e. REVIRADO

El revirado es un tipo de deformación causado por la combinación de una contracción longitudinal desigual y la presencia de desviaciones en las fibras, tales como fibras reviradas, onduladas o localmente torcidas.

Sobre el total de tablas analizadas (444), solo 56 (12,6%) presentaron este defecto. A nivel de medias se observó una mayor incidencia en HSP y en EG36, este último solamente en el sitio de Misiones (Cuadro 7).

Cuadro 7. Porcentaje de Tablas afectadas por revirado de cada material genético y sitio evaluado.

Sitio	Tablas afectadas (%)					
	HSP	EG36	EG157	GC27	GC8	GC24
Entre Ríos	23,1	6,8	4,9	9,8	15,5	-
Misiones	23,1	32,3	13,6	7,7	-	12,8

Como resumen del conjunto de alabeos (combado, encorvado, abarquillado y revirado), se puede decir que EG157 tuvo el mejor comportamiento, mientras que EG36, GC27 y GC8 presentaron un inferior desempeño que HSP.

3.f. MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO

El módulo de elasticidad dinámico (MOEd) es una de las propiedades que se utiliza para verificar la capacidad resistente de una pieza de madera. Para esta propiedad se observaron efectos de sitio, aunque con valores similares de MOEd en ambos sitios. Sin embargo, las tablas sin presencia de médula presentaron valores mayores de MOEd en comparación con las tablas con médula. Entre las tablas con médula, EG157, cuyo valor de MOEd fue el menor obtenido, se diferenció significativamente de GC8 y EG36, pero no del resto de los materiales. En el caso de las tablas sin médula, EG157 nuevamente obtuvo los menores valores de MOEd, diferenciándose significativamente de GC8; GC27 y HSP, pero no de EG36 (Figura 6).

De forma similar, para el sitio de Misiones, EG157 obtuvo los menores valores de MOEd, tanto para tablas con y sin médula, respecto de GC27; GC24 y HSP, pero no de EG36 en el caso de tablas con médula. En el caso de tablas sin médula EG157 se diferenció significativamente del resto de los materiales por su menor valor de módulo, así como GC27 se diferenció positivamente del resto de los materiales (Figura 7), siendo este material el que presenta mayor aptitud para usos resistentes.

La disminución del MOEd a causa de la presencia de médula ha sido determinada por varios autores, Según Piter (2003) La presencia de médula, frecuentemente asociada con otros defectos como grandes fisuras, reduce significativamente la resistencia a flexión y tracción, así como el módulo de elasticidad en flexión, tracción y compresión, pero su influencia es pequeña sobre la resistencia a compresión. De tal forma es el efecto de la médula sobre la resistencia que las normas IRAM 9662.2.



“Madera laminada encolada estructural. Clasificación de tablas por su resistencia”, no admite piezas con medula en ninguna de sus clases resistentes.

La norma EN 338 (1996) contempla 9 clases resistentes para especies de coníferas y álamo y 6 para frondosas. Así las clases resistentes para frondosas van desde D30, cuyo valor característico de MOE es de 10 KN/mm² a D70 cuyo valor característico es de 20 KN/mm².

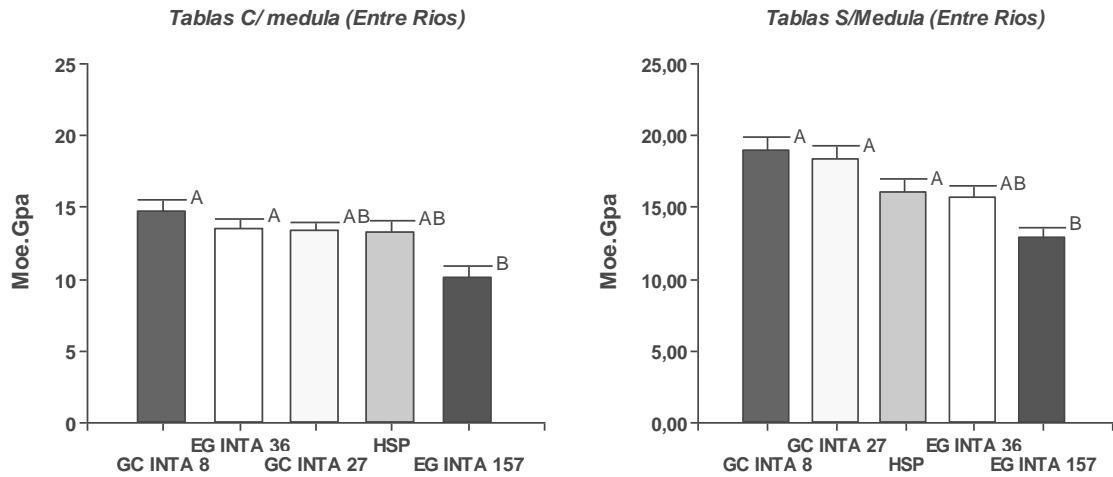


Figura 6. Módulo de elasticidad en tablas con y sin presencia de médula (sitio Entre Ríos). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

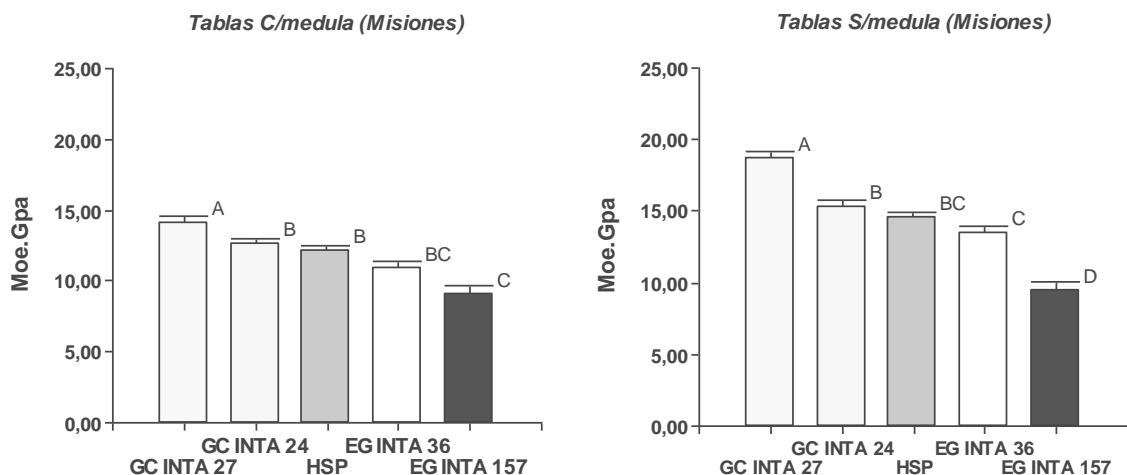


Figura 7. Módulo de elasticidad en tablas con y sin presencia de médula (sitio Misiones). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Según la clasificación realizada automáticamente por el PLG en base a las clases resistentes de la norma EN 338 (1996), GC157 fue el material con mayor porcentaje de rechazos (94,5%) sobre 55 tablas analizadas, mientras que los materiales que menos rechazos presentaron fueron GC27 con un 8% sobre 63 tablas analizadas y GC8 con ningún rechazo sobre 19 tablas analizadas. Todos los materiales salvo GC24 presentaron tablas en la clase D60, siendo GC8 (42,1%) y GC27 (14,2%) los que mayor cantidad de tablas presentaron en estas clases.

CONSIDERACIONES FINALES

Las tensiones de crecimiento, y en consecuencia el rajado en trozas y tablas, se incrementan con la edad, no obstante, es posible seleccionar materiales genéticos con menores tensiones de crecimiento a edades menores al turno.

Los defectos en tablas se ven afectados por varios factores, en este caso representados por los sitios muestreado a diferentes edades, la presencia de médula y el tipo de material genético, que poseen



significativa relevancia en la evaluación de los resultados.

Estas características evaluadas permitirán una mejor decisión a la hora de escoger los materiales genéticos en función de su destino final, donde queda evidente la polivalencia del material de semilla que aparece bien calificado para la mayoría de las características, y de la especificidad de cada clon, que aparecen mejor o peor calificados de acuerdo con el defecto y/o característica que se considere. Asimismo, estos resultados aportan información relevante respecto a la importancia de la médula y de la edad en los defectos en trozas y tablas, para usos de mayor valor y del efecto de las rajaduras en las pérdidas de aserrado.

Es importante resaltar que la decisión de utilizar uno u otro material genético va a depender de la conjugación de varios factores y que difícilmente un solo material genético logre cumplimentar valores satisfactorios para todas las aptitudes de uso. Inicialmente, la adaptabilidad y productividad de los mismos puede definir la factibilidad de realizar las plantaciones, pero a largo plazo, la calidad de su madera es la que contribuirá al establecimiento y desarrollo de la actividad forestal.

AGRADECIMIENTOS

A los señores Ricardo Chesani, de Establecimiento Don Albino SRL, Orlando Serra de Concordina SA, Gabriel Orcellet de Aserradero Orcellet, personal de la EEA Concepción del Uruguay, de la EEA Bella Vista y de la EEA Concordia de INTA, por el apoyo en el mantenimiento de los ensayos, muestreo y procesado de la madera.

BIBLIOGRAFIA

BIECHELE, T., NUTTO, L. & BECKER, G. 2009. Growth strain in *Eucalyptus nitens* at different stages of development. *Silva Fennica* 43: 669–679.

BLACKBURN, D. P.; HAMILTON, M. G.; HARWOOD, C. E.; INNES, T. C; POTTS, B. M. AND WILLIAMS, D. 2011. Genetic variation in traits affecting sawn timber recovery in plantation-grown *Eucalyptus nitens*. *Annals of Forest Science* 68:1187–1195

COPANT. 1975. Maderas aserradas y cepilladas: Método de medición de los defectos.

DIEZ, M.R; FERNANDEZ GOLFÍN J.I.; HERMOSO E. 2001. Causas de las deformaciones en madera estructural de *Pinus nigra*. *Investigación Agraria.: Sist.Recur. For.*10: 245 -252

HARRAND, L. Y SCHENONE, R. 2002. Obtención de individuos híbridos de *Eucalyptus* a través de la realización de cruzamientos controlados. XVII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Actas en CD.10 p.

HARRAND, L. 2005. La utilización de híbridos interespecíficos como alternativa forestal. En: IDIA XXI. Año V. 8: 171-174

HARRAND, L.; VARGAS HERNANDEZ, J.J.; LOPEZ UPTON, J.; RAMIREZ VALVERDE, G. 2009. Genetic parameters of growth traits and wood density in *Eucalyptus grandis* progenies planted in Argentina. *Silvae Genetica*, Vol 58: 11–19

HERNÁNDEZ, M; ZADERENKO, C; MONTEOLIVA, S. 2014. Efecto de las tensiones de crecimiento en el rendimiento y calidad del aserrado de *Eucalyptus dunnii*. *Maderas. Ciencia y tecnología* 16: 403 – 412.

JACOB, M.R. 1959. Informe al gobierno de la Argentina sobre la ecología del eucalipto. IFONA. Informe 1019, 80 p.

JANG, J.L. AND WAUGH, G. 2001. Growth stress, its measurement and effects. *Australian Forestry* Vol. 64, No. 2.:127-135.

KLUBER, H. 1987. Growth Stresses in Trees and Related Wood Properties. *Forest Products Abstracts*10: 61-119.

LÓPEZ, J.A. 1993. Variación, heredabilidad y correlaciones genéticas de la densidad de la madera de 15 familias de *Eucalyptus grandis*. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Paraná (E. Ríos). Actas. Comisión IV. 5 p.

LÓPEZ, J.A.; GENES, P.Y.; HERNANDEZ, M; MARCO, M.A.; HARRAND, L. Y OBERSCHELP, J. 2009. Propiedades físicas, mecánicas y organolépticas de 10 clones de *Eucalyptus grandis* de 1ra generación del Programa de Mejoramiento Genético del INTA. EEA INTA Bella Vista. 26 p.

LOPEZ, J.A.; BORRALHO, N.; LOPEZ, A.J.; MARCO, M.A. Y HARRAND, L. 2012. Variación genética del índice de rajado de rollizos en *Eucalyptus dunnii*. Simposio IUFRO. 22-23 de noviembre de 2012. Pucón Chile. Actas en CD. 12 p.



- LÓPEZ, J.A. Y LÓPEZ, A.J. 2013. Coeficiente de repetibilidad edad-edad de las tensiones de crecimiento en clones de *Eucalyptus grandis*. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Mnes. Argentina. 23 al 27 de septiembre de 2013. Actas en CD. 10 p.
- LÓPEZ, J.A.; HARRAND, L.; MARCÓ, M.A. Y LÓPEZ, A.J. 2016. Variación genética de clones híbridos de *Eucalyptus*. Quebracho, Vol. 24: 5-17.
- MALAN, F.S. 2008. Clonal differences in log end splitting in *Eucalyptus grandis* in relation to age, parent performance, growth rate and wood density in two even-aged trials in Mpumalanga, South Africa. Southern Forests 2008, 70: 37-43.
- MASTRANDREA, C; LOPEZ, J. 2014. Caracterización de la madera de 5 especies de eucalipto para el noreste de Entre Ríos. Cartilla día de campo XXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. 5-10
- MASTRANDREA, C; VERGARA, L. 2010. Diagnóstico del sector de transformación primaria de la madera en la región noreste de Entre Ríos año 2009. XIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Actas en CD. 19 p.
- MONTEOLIVA, S; HERNANDEZ, M. 2014. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii* Maiden.: parámetros dendrométricos y anatomía de la madera. Revista Árvore, Viçosa-MG, 38:755-763.
- ALVAREZ NOVES, H. 1986. Deformaciones de la madera aserrada producidas durante y después del secado. Hoja informativa. Ministerio De Agricultura Pesca y Alimentación. p: 1- 20
- OKUYAMA, T. 1997. Assessment of growth stresses and peripheral strain in standing trees. IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts. Salvador. Proceedings. Colombo: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas 1: 1-14
- PITER, J.C. 2003. Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el *Eucalyptus grandis* de Argentina. Tesis. p 206
- SEVERO, E T D; TOMASELLI, I; CALONEGO, F W; FERREIRA, A L; MENDES, L M. (2013). Effect of steam thermal treatment on the drying process of *Eucalyptus dunnii* variables. CERNE 19: 637-645. <https://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000400014>
- SCHACHT, L.; GARCIA, J. N. E VENCOVSKY, R. 1998. Variacao genetica de indicadores de tensao de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. Scientia Forestalis 54:55-68
- TOUZA, M. 2001. Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuado para procesar *Eucalyptus globulus* con tensiones de crecimiento. Proyecto FAIR CT 98-9579. Revista CIS-Madera 6: 8-37.