

## VARIACION GENETICA DEL INDICE DE RAJADO DE ROLLIZOS EN *Eucalyptus dunnii* Maiden.

López, Juan<sup>8</sup>; Borralho, Nuno<sup>9</sup>; López, Augusto<sup>10</sup>,  
Marcó, Martín<sup>11</sup> y Harrand, Leonel<sup>11</sup>

### RESUMEN

En la Mesopotamia Argentina *Eucalyptus dunnii* Maiden ha mostrado excelente adaptación y velocidad de crecimiento, menor susceptibilidad a las bajas temperaturas y alta densidad de la madera. No obstante, posee tensiones de crecimiento elevadas y baja estabilidad dimensional, con lo cual, su utilización para usos sólidos de alto valor no tiene buena aceptación en el sector industrial.

En los años 1991 y 1992 el INTA<sup>12</sup> instaló una serie de ensayos de orígenes/progenies en varios sitios de la Mesopotamia. Algunos de dichos ensayos fueron raleados y transformados en Huertos Semilleros de Progenies utilizando un Índice Combinado de Selección a través del cual fue posible capturar el 87% y 70% de la máxima ganancia genética posible para volumen y forma, respectivamente.

Con el objetivo de estimar parámetros genéticos e identificar en esa población seleccionada (por volumen y rectitud del fuste) individuos con bajo nivel de tensiones de crecimiento, mayor estabilidad dimensional y una densidad de la madera similar al promedio de la especie a los 20 años de edad, uno de dichos huertos fue sometido a un muestreo destructivo.

En este trabajo se presentan los resultados referidos a las tensiones de crecimiento cuantificadas indirectamente utilizando un Índice de Rajado (IRr) que fue medido a las 72 horas posteriores al corte en las 4 caras de los 2 primeros rollizos comerciales.

El material estudiado involucró 72 familias de polinización libre de las cuales 60 corresponden a material salvaje cosechado en el área de distribución natural de la especie y 12 a selecciones realizadas en forestaciones comerciales en Argentina correspondientes al origen Moleton, NSW. La información fue analizada utilizando la metodología de modelos mixtos (análisis REML-BLUP).

Los resultados muestran una importante variación genética del IRr evidenciando que dicha propiedad se encuentran bajo un fuerte control genético ( $h^2$ :  $0,48 \pm 0,21$ ). La heredabilidad del volumen fue moderada ( $h^2$ :  $0,19 \pm 0,10$ ) y levemente superior que la obtenida a edades más jóvenes.

Los parámetros estimados indican que es posible esperar un cambio significativo en la reducción de las tensiones de crecimiento de *E. dunnii* aplicando estrategias convencionales de mejoramiento genético.

Se discuten las futuras estrategias para movilizar y rescatar dichos ejemplares sobresalientes a efectos de utilizarlos en el Programa de Mejoramiento Genético del INTA para madera de usos sólidos de alto valor.

Palabras clave: Tensiones de crecimiento, parámetros genéticos, *Eucalyptus dunnii*

<sup>8</sup> INTA EEA Bella Vista. Corrientes. Argentina. jlopez@correo.inta.gov.ar

<sup>9</sup> Consultor en Genética Forestal e Investigador Asociado del Centro de Estudos Florestais, Univ. Técnica de Lisboa. Portugal.

<sup>10</sup> Consultor Proyecto PMSRN BIRF 7520 AR. Bella Vista. Corrientes. Argentina

<sup>11</sup> INTA EEA Concordia. Entre Ríos. Argentina

<sup>12</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina

## SUMMARY

In the Argentinean Mesopotamia region, *Eucalyptus dunnii* Maiden has shown excellent adaptation and growth, less susceptibility to low temperatures and high wood density. However, it has high growth stresses and poor dimensional stability, thus industry has not accepted its use for high value solid wood.

During 1991-92 INTA established a series of provenance/progeny trials in different locations of the Mesopotamia. Some of these trials were thinned and converted into Seed Orchards using a Combined Selection Index which captured 87% and 70% of the maximum genetic gain possible in volume and stem straightness, respectively.

In one of these seedling seed orchards, a destructive sample was carried out in order to estimate genetic parameters and identify in the population, previously selected for volume and stem straightness, individuals with low levels of growth stress, greater dimensional stability and wood density similar to the average for the species at age 20 years.

In this work are reported the results on growth stress, as indirectly quantified using a Log end Splitting ratio (IRr), in the 4 sides of the 2 first commercial logs, measured 72 hours after cutting the trees,.

The study included 72 open-pollinated families of which 60 are from seed collected in the natural area of distribution of the specie in Australia, and 12 from selections done in commercial plantations in Argentina (Moletón provenance, NSW). The information was analyzed using a mixed model approach (REML-BLUP analysis).

The results show an important genetic variation for IRr, giving evidence that such property is under strong genetic control ( $h^2 = 0,48 \pm 0,21$ ). The heritability for volume was moderate ( $h^2 = 0,19 \pm 0,10$ ) and slightly higher than the one obtained at a younger age.

These estimated parameters suggest that significant reduction in growth stress of *E. dunnii* could be achieved by applying conventional selection strategies in genetic improvement programs.

Future strategies are discussed in order to move and rescue such plus individuals to use them in the INTA's Genetic Improvement Programme for high value solid wood uses.

Key words: Growth stress, genetic parameters, *Eucalyptus dunnii*

## INTRODUCCION

*Eucalyptus dunnii* fue introducido en Argentina en 1979 como parte de una red de ensayos de especies realizado por la empresa Celulosa Argentina SA (Maradei, 1987). Los primeros ensayos con material recolectado en el área de distribución natural de la especie fueron instalados por el INTA y el CIEF entre 1980 y 1986.

A partir de dichas introducciones, los principales resultados evidenciaron excelente adaptación y velocidad de crecimiento. Así, en la región templada-húmeda de Argentina (norte de Buenos Aires y sur de Santa Fé) *E. dunnii* supera en crecimiento a *E. grandis* y a los mejores orígenes de *E. viminalis* (Maradei, 1987; Alliani *et al.*, 1990). En la Mesopotamia argentina, en la región templada-cálida (noreste de Entre Ríos) *E. dunnii* desarrolló crecimientos similares o levemente inferiores a *E. grandis* (Marcó *et al.*, 1991; Marcó y López, 1995) y en la región subtropical (norte de Corrientes, sur y centro de Misiones) fue superado por los orígenes más productivos de *E. grandis* (Marcó *et al.*, 1991; Baez, 1991).

Uno de los principales atributos de *E. dunnii*, en coincidencia con los resultados obtenidos en otros países (Darrow, 1995; Higa *et al.*, 1997), se refiere a su mayor tolerancia a las bajas temperaturas. Esta condición fue comprobada desde las primeras observaciones realizadas en Argentina (Pujato *et al.*, 1983; Maradei, 1987; Perucchi, 1991) posicionando muy bien a la especie para algunas regiones y sitios donde el riesgo frecuente de heladas hacen menos recomendable el cultivo de *E. grandis*.

En cuanto a propiedades de la madera y posibilidades de uso la información disponible en Argentina indica que *E. dunnii* posee madera medianamente pesada (entre 500-700 Kg/m<sup>3</sup>) con una densidad promedio, dependiendo de la edad, entre 28% y 37,6% superior a la de *E. grandis* (Repetti, 1987; Sparnochia, 1991; López y Staffieri, 2003). No obstante, de manera desfavorable en relación a *E. grandis*, presenta alta contractibilidad radial y tangencial, así también mayor nivel de tensiones de crecimiento lo cual le confiere mayor susceptibilidad al rajado, abarquillado, combado y colapso (Sparnochia, 1991; López, 2005). Similares resultados fueron logrados en Sudáfrica, Brasil y Australia (Stanger, 1993; Rocha, 2000; Harwood *et al.*, 2005). Por dicha razón y a pesar de su excelente adaptación, velocidad de crecimiento y mayor tolerancia a las heladas, la utilización de *E. dunnii* para usos sólidos de alto valor no tiene buena aceptación en el sector industrial de la Mesopotamia argentina.

Con el fin de incrementar la base genética del programa de mejoramiento de la especie, entre 1991 y 1992 el INTA instaló una serie de ensayos de orígenes/procedencias/progenies en 6 sitios de la Mesopotamia (Marcó y López, 1993). A una edad promedio de 5 años se realizaron las estimaciones de ganancia genética utilizando un índice combinado de selección a través del cual fue posible capturar el 87% y 70% de la máxima ganancia posible para volumen y forma, respectivamente (Marcó and White, 2002). Haciendo uso de dicha información, a los 11 años de edad, 2 ensayos ubicados en la provincia de Entre Ríos fueron raleados y transformados en Huertos Semilleros de Progenies. A efectos de mantener la diversidad genética y procurando el mayor equilibrio posible en cuanto a la distribución espacial se conservaron entre 6-8 individuos de las familias con mejor comportamiento, 3-5 individuos de las familias de comportamiento intermedio y 1-2 ejemplares de las de peor comportamiento. Al mismo tiempo, los genotipos de mayor ganancia genética fueron movilizadas vía injerto e instalados en un Huerto Semillero Clonal en el Instituto de Recursos Biológicos del INTA Castelar, donde las condiciones climáticas son muy favorables para la producción de semilla (34° 37' S, 58° 40' O).

Debido a la baja producción de semilla registrada en el Huerto Semillero de Progenies ubicado en Ubajay, Entre Ríos (31° 45' S, 58° 15' O) y dada la creciente importancia de la especie para la región, a los 20 años de edad, dicho huerto fue sometido a un muestreo destructivo con el objetivo de estimar parámetros genéticos e identificar en esa población seleccionada (por volumen y rectitud del fuste) individuos con bajo nivel de tensiones de crecimiento, mayor estabilidad dimensional y una densidad de la madera similar al promedio de la especie. En este trabajo se presentan los resultados referidos a las tensiones de crecimiento cuantificadas indirectamente utilizando un Índice de Rajado en rollizos.

## MATERIALES Y METODOS

En el Cuadro N° 1 se describen los materiales evaluados. Para el agrupamiento de las fuentes de semilla se mantuvo lo realizado por Marcó and White (2002) quienes asociaron orígenes con pocas familias a orígenes con un mayor número de familias cosechadas en similares localidades de Australia.

Si bien el total de árboles cortados fue de 329, con el fin de evitar posibles alteraciones en la expresión de las rajaduras en las caras de los rollizos, 6 ejemplares no fueron colectados por tener quebrada la copa, presentar daños mecánicos anteriores en el tercio inferior del fuste o por haber sufrido golpes severos y/o torsiones al momento del apeo. Otros 6 árboles no fueron incluidos en el análisis (3 familias con un solo representante y 3 individuos *outliers*) con lo cual el número total de individuos analizados fue de 317. Estos representan a 72 familias de medio-hermanos con 2 a 8 individuos por familia.

**Cuadro N° 1**  
**DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES EVALUADOS DE *E. dunnii***

Fuentes de Semilla	Origen/Procedencia	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)
BCUN	-Boomi Creek, NSW (10)	28° 25´ S	152° 41´ E	300
	-Unumgar S.F., 10 km East of Woodenbong, NSW (2)	28° 25´ S	152° 42´ E	300
DHAC	-Death Horse Track Region, Est of Legume, NSW (26)	28° 25´ S	152° 20´ E	600-700
	-Acacia Creek , a 25 km NNW of Urbenville, NSW (4)	28° 23´ S	152° 20´ E	600-750
OC	-Oak Creek, NSW (9)	28° 36´ S	152° 31´ E	520
SÝ	-South Yabra S.F., NSW (9)	28° 36´ S	152° 29´ E	540
SD	-Individuos seleccionados en plantaciones comerciales del origen Moleton (NSW) en Oliveros, Santa Fe, Argentina (12)	32° 33´ S	60° 51´ O	27



**Figura N° 1**  
**ROLLIZOS DE *E. dunnii* CON LOS EXTREMOS CUBIERTOS CON BOLSAS PLÁSTICAS**

Todos los individuos fueron cortados durante la misma semana. Antes del corte se midió el diámetro a 1,30 m de altura (DAP) y la altura total (ALT). Con dicha información se calculó el factor de estabilidad (FE) a través de la razón DAP/ALT. Dado que en la región no existen desarrolladas funciones de volumen para *E. dunnii*, las estimaciones de los volúmenes individuales con corteza expresados en m<sup>3</sup> (VOL) fueron procesadas con la ecuación propuesta por Glade y Field (1988) para *Eucalyptus grandis*:

$$VOL = \exp[-9,9616718 + 1,8234264 \cdot \ln(DAP) + 1,0697836 \cdot \ln(ALT)]$$

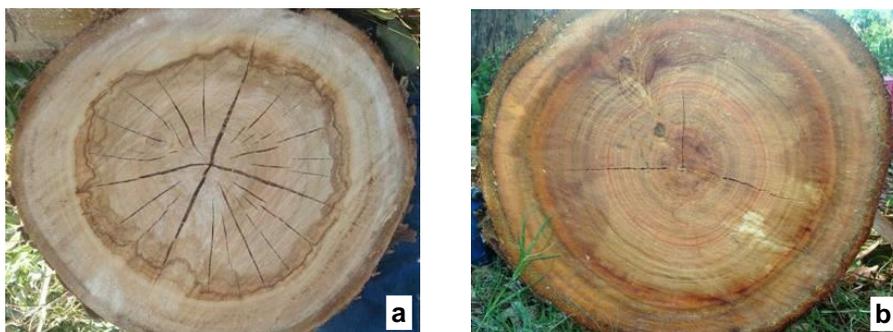
Para estimar la intensidad de las tensiones de crecimiento, los ejemplares fueron cortados manualmente con motosierra elaborándose en cada uno de ellos, a partir de 1,30 m de altura, 2 rollizos consecutivos de 2,50 m de longitud. Inmediatamente después del trozado, los extremos de ambos rollizos fueron cubiertos con bolsas plásticas a efectos de mantener la humedad natural y retardar el proceso de secado, retracción y colapso (Figura N° 1). De esta manera las rajaduras observadas, casi exclusivamente, pueden atribuirse a la liberación de las tensiones de crecimiento (Figura N° 2).

Luego de transcurridas 72 horas, en los extremos de ambos rollizos se tomaron imágenes con una cámara digital de uso común de 8,1 Mega pixels. Estas imágenes fueron procesadas en gabinete utilizando un software libre (Sistema Abierto de Información Geográfica Kosmo 2.0 (<http://www.opengis.es/>)). El Índice de Rajado en rollizos (IRr) adoptado fue el propuesto por Lima, 2000 (citado por Santos, 2002) que relaciona el área ocupada por las rajaduras y el área total de la sección transversal que contiene a esas rajaduras (cara del rollizo):

$$IRr (\%) = \frac{\sum(A_i \cdot L_i)}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \times 100$$

Donde:  $A_i$ : abertura máxima de la rajadura  $i$  ( $i=1, \dots, n$ );  
 $L_i$ : largo de la rajadura  $i$  ( $i=1, \dots, n$ )  
 D: diámetro medio de la sección transversal.

El IRr a través del cual fue caracterizado cada individuo corresponde al promedio de los 4 IRr obtenidos de los extremos de los 2 rollizos elaborados.



**Figura N° 2**  
**VISTA DE DOS CARAS CONTIGUAS DE *E. dunnii* 72 HORAS POSTERIORES AL TROZADO**  
**(a) SIN COBERTURA Y (b) CON COBERTURA**

Como sugerido por Wei and Borralho (1998) se procesó un análisis trivariado combinando la información del IRr ( $y_1$ ) medido al 20º año en los 317 árboles con las mediciones de VOL y FE de todos los individuos del ensayo original al 6º año ( $y_2$ ) y la del 20º año ( $y_3$ ) después del raleo.

Este procedimiento se realizó con el objetivo de corregir posibles sesgos producto del raleo temprano. El modelo asumió a las repeticiones y fuentes de semilla como fijos y al efecto de familias como aleatorios. El modelo lineal utilizado, en notación matricial, se consigna a continuación:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}$$

Donde:  $y_1, y_2, y_3$  es el vector de observaciones  
 $b_1, b_2, b_3$  el vector de repeticiones (fijos)  
 $s_1, s_2, s_3$  el vector de Fuentes de Semilla (fijos)  
 $f_1, f_2, f_3$  el vector de familias (aleatorio)  
 $e_1, e_2, e_3$ : vector de los residuos asociados a dichos efectos  
 $X_{1,2,3}; W_{1,2,3}$  y  $Z_{1,2,3}$  corresponden a las respectivas matrices de incidencia y O son matrices nulas.

Para comprobar la significancia de los efectos de las Fuentes de Semilla, se usó el test aproximado de Wald, multiplicando el test F obtenido en AsReml por los grados de libertad de las Fuentes de Semilla (4) y comparándolo a una distribución de Chi cuadrado con 4 grados de libertad.

La estimaciones de los componentes de varianza y covarianza fueron obtenidas utilizando el programa AsReml (Gilmour *et al.*, 1999). Las familias de polinización libre fueron asumidas como medio-hermanos con un coeficiente de parentesco de 0,33. Las heredabilidades ( $h^2$ ) y las correlaciones genéticas ( $r_g$ ) entre caracteres fueron calculadas como:

$$h^2 = \frac{3,3\sigma^2 f}{(\sigma^2 f + \sigma^2 e)} \quad r_{g(x,y)} = \frac{\text{Cov}_{f(x,y)}}{\sqrt{(\sigma^2 f(x) \sigma^2 f(y))}}$$

Donde:  $\sigma^2 f$  y  $\sigma^2 e$  son las variancias de los efectos de familias y residuales.  
 $\text{Cov}_{f(x,y)}$  es la covarianza entre las variables  $x$  e  $y$ .

Los errores estándar aproximados de la heredabilidad y de las correlaciones genéticas se estimaron usando la expansión de Series de Taylor (Lynch and Walsh, 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro N° 2 se consignan los valores medios, desvíos, valores máximos y mínimos de las características evaluadas al 20º año.

La significativa amplitud observada en las variable VOL, tal como comentado en antecedentes, se debe a que la población de producción evaluada (Huerto Semillero de Progenies) estuvo constituida por los mejores individuos de todas las familias del ensayo original, con lo cual, en el mismo coexistían ejemplares de alto, medio y bajo crecimiento.

En cuanto al nivel de tensiones de crecimiento, estimado indirectamente a través del IRr, también se observó una gran amplitud y un alto valor medio.

**Cuadro N° 2**  
**ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA ÍNDICE DE RAJADO ROLLIZOS (IRr), FACTOR DE ESTABILIDAD (FE) Y VOLUMEN INDIVIDUAL (VOL) DE LOS 317 INDIVIDUOS DE *E. dunnii* ANALIZADOS A LOS 20 AÑOS DE EDAD**

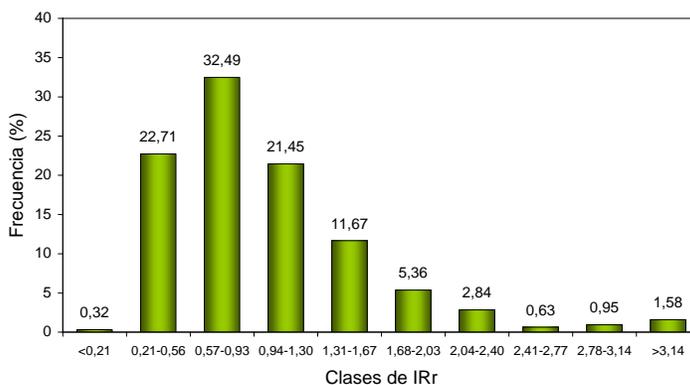
	<b>IRr (%)</b>	<b>FE (DAP/ALT)</b>	<b>VOL (m<sup>3</sup>)</b>
Media	1,015	1,042	1,4169
Desvío	0,588	0,132	0,5537
Mínimo	0,205	0,759	0,4016
Máximo	3,515	1,483	3,6346

El histograma presentado en la Figura N° 3 muestra las frecuencias relativas por clases de IRr de los 317 individuos de *E. dunnii* analizados. Allí se observa una distribución sesgada hacia la derecha (valores altos de IRr) y una evidencia de moderada no normalidad donde, considerando lo sugerido por López *et al.* (2009) para *E. grandis* utilizando el mismo IRr que el ocupado en este trabajo, el 61,6% de la población muestreada manifestó IRr Altos y Muy Altos (IRr superiores a 0,74).

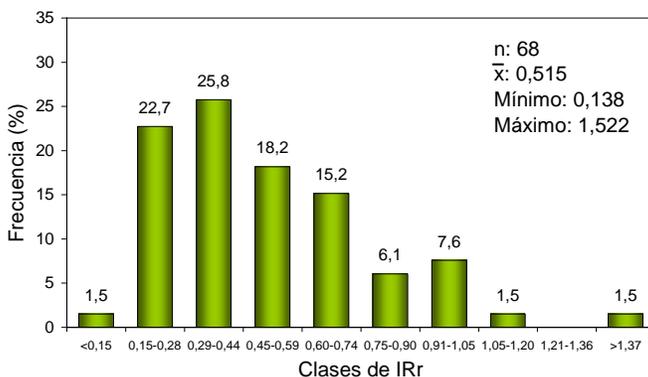
El alto nivel de tensiones de crecimiento de *E. dunnii* es coincidente con lo obtenido por Murphy *et al.* (2005) quienes al analizar 52 familias de polinización libre al 8° año de edad, mencionan que más del 90% de los ejemplares estudiados evidenciaron altos niveles de tensión.

No obstante, en la población analizada en el presente trabajo también se detectaron ejemplares con menor nivel de tensiones de crecimiento. En este sentido, en las 3 primeras clases de IRr (Figura N° 3) se constató la presencia de 1 individuo con IRr Muy Bajo, 49 con IRr Bajo y 72 con IRr Medio, representando en relación al total de individuos muestreados el 0,32%, 15,4% y 22,7%, respectivamente.

Sin duda dichos porcentajes fueron significativamente inferiores a los detectados por López (2008) para un grupo de selectos por volumen, rectitud del fuste y densidad de la madera de *E. grandis* al 12° año de edad, donde el 83,4% de los ejemplares analizados expresaron IRr inferiores a 0,75 (Figura N° 4).



**Figura N° 3**  
**FRECUENCIAS RELATIVAS POR CLASES DE IRr DE *E. dunnii* a LOS 20 AÑOS DE EDAD**



**Figura N° 4**  
**FRECUENCIAS RELATIVAS POR CLASES DE IRr DE 68 INDIVIDUOS SELECTOS**  
**DE *E. grandis* A LOS 12 AÑOS DE EDAD EN 3 SITIOS DEL NORESTE DE ARGENTINA**

En el Cuadro N° 3 se puede observar que los efectos de fuentes de semilla solo fueron significativos para IRr, con una probabilidad de 2,4%.

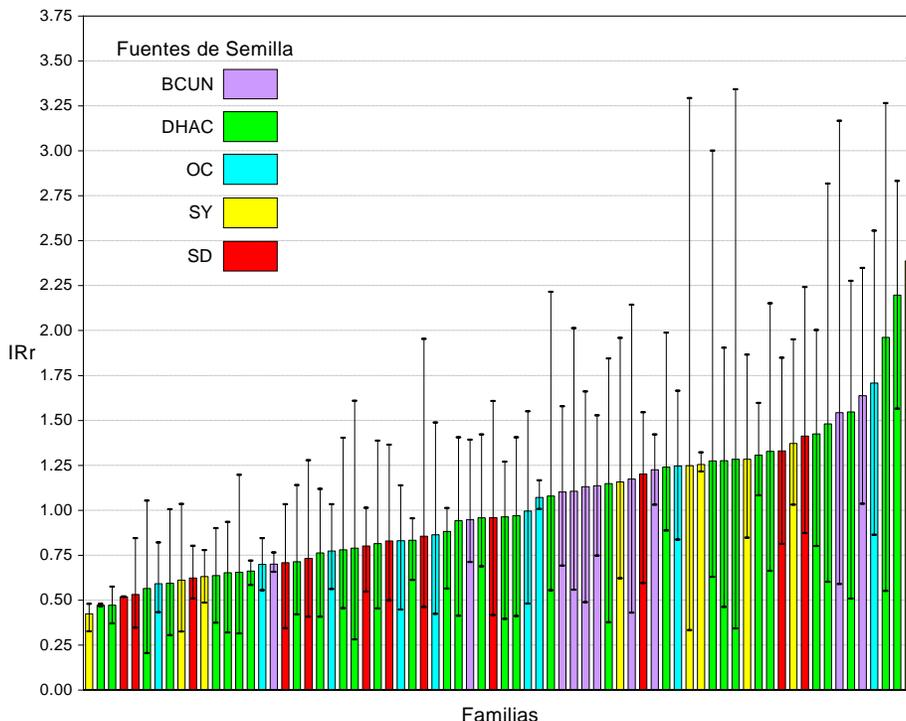
La procedencia local SD (Individuos seleccionados en plantaciones comerciales del origen Moleton, NSW) tuvo un valor de IRr claramente inferior al de los restantes materiales salvajes evaluados.

No obstante, tal como presentado en la Figura N° 5, se destaca una importante variación a nivel familiar pudiendo distinguirse en cualquiera de las fuentes de semilla, familias de Bajo, Medio y Alto IRr.

Así mismo, dentro de cada familia la magnitud de la variación individual, en la mayoría de los casos fue muy alta. En este sentido, el coeficiente de variación intrafamiliar en promedio fue de 41,9% ±18%.

**Cuadro N° 3**  
**VALORES ESTIMADOS DEL EFECTO FUENTE DE SEMILLA**  
**PARA IRr, FE Y VOL EN *E. dunnii* A LOS 20 AÑOS DE EDAD**

Fuente de Semilla	IRr (%)	FE (cm/m)	VOL (m <sup>3</sup> )
BCUN	1,460	0,915	1,291
DHAC	1,115	0,989	1,460
OC	1,104	0,950	1,464
SY	1,350	0,928	1,238
SD	1,029	0,939	1,414
Prob (Wald test)	0,024	0,196	0,326



**Figura N° 5**  
**VALORES MEDIOS FAMILIARES Y EXTREMOS DE VARIACIÓN INTRAFAMILIAR**  
**DEL IRr DE *E. dunnii* A LOS 20 AÑOS DE EDAD**

La heredabilidad individual en sentido estricto del IRr fue alta ( $h^2 = 0,482$ ) indicando un fuerte control genético de esta propiedad (Cuadro N° 4). El coeficiente obtenido es comparable al informado para *E. dunnii* y otras especies de *Eucalyptus*. En relación a ello, Murphy *et al.* (2005) al analizar 164 individuos pertenecientes a 52 familias de polinización libre de *E. dunnii* al 8° año de edad y utilizando la metodología no-destructiva sugerida por Yoshida and Okuyama (2002) determinaron una  $h^2$  entre  $0,32 \pm 0,17$  y  $0,52 \pm 0,27$  dependiendo del coeficiente de parentesco asumido. Por su parte, Blackburn *et al.* (2011) al analizar 560 árboles de 129 familias de polinización libre de *E. nitens* de 14 años de edad y utilizando el IRr desarrollado por Yang and Pongracic (2004) detectaron una  $h^2$  entre  $0,28 \pm 0,09$  y  $0,46 \pm 0,11$  en las caras basales y superiores de los rollizos analizados, respectivamente. Heredabilidades de menor magnitud fueron reportadas para familias de polinización libre de *E. grandis* por Santos (2002) y Bandara (2006) quienes informaron coeficientes de 0,31 y 0,13, respectivamente.

Las  $h^2$  para VOL y FE a los 20 años fueron moderadas y levemente superiores a las estimadas para el 6° año de edad (entre 0,19 y 0,25).

En cuanto a las correlaciones genéticas se destaca la independencia entre IRr y VOL ( $rg: -0,032$ ), aunque con un error de estimación elevado.

Por otro lado, el IRr mostró una asociación favorable con el FE ( $rg = -0,420$ ) indicando que árboles con alta relación DAP/ALT tienden a manifestar menor nivel de tensiones de crecimiento (IRr) que los delgados y altos. Este resultado también fue detectado Murphy *et al.*

(2005) para *E. dunnii* y por Schacht *et al.* (2004) estudiando clones de *E. urophylla*. Estos últimos autores sugieren utilizar al factor de estabilidad (FE) como una medida de selección indirecta para disminuir el IRr.

**Cuadro N° 4**  
**HEREDABILIDAD, CORRELACIONES GENÉTICAS Y FENOTÍPICAS**  
**DEL IRr, FE Y VOL DE *E. dunnii* A LOS 20 AÑOS DE EDAD**

	IRr	FE	VOL
IRr	<b>0,482</b> (0,21)	-0,089 (0.06)	0,009 (0,06)
FE	-0,420 (0,34)	<b>0,255</b> (0.14)	0,649 (0,04)
VOL	-0,032 (0,35)	0,262 (0.49)	<b>0,191</b> (0,10)

$h^2$  en la diagonal,  $r_f$  arriba de la diagonal,  $r_g$  debajo de la diagonal  
 Error Estándar entre paréntesis

La magnitud de la heredabilidad del IRr indica que es posible esperar un cambio significativo en la reducción de las tensiones de crecimiento de *E. dunnii* aplicando estrategias convencionales de mejoramiento genético.

Cabe destacar que, cerca del 50% de los genotipos de mayor ganancia genética en volumen y rectitud del fuste que ya fueran movilizados con anterioridad vía injerto e instalados en un Huerto Semillero Clonal (HSC), evidenciaron ganancias genéticas en bajo nivel de tensiones de crecimiento. No obstante, con la información aquí presentada y sin pérdida significativa de crecimiento y forma, podría implantarse un nuevo HSC que reúna genotipos con bajo IRr a efectos de producir semilla comercial procedente de polinización abierta (PA).

Estos primeros resultados tienen una significativa connotación positiva para el desarrollo del programa de mejoramiento de la especie para uso sólido de alto valor. Pese a ello, otras propiedades de gran importancia como la densidad de la madera y fundamentalmente, la estabilidad dimensional (contracciones radiales, tangenciales y volumétricas) están siendo estudiadas a efectos de incorporar dicha información al conocimiento que se posee de esta población seleccionada por velocidad de crecimiento y rectitud del fuste.

Por otro lado, si bien *Eucalyptus grandis* es la especie más plantada en la Mesopotamia argentina con una productividad y calidad de la madera superior a la *E. dunnii* y con gran aceptación en el mercado doméstico, la misma es poco tolerante a las bajas temperaturas. Por lo tanto, la incorporación de mayor tolerancia al frío a través de un programa de hibridación con *E. dunnii* resultaría una excelente oportunidad.

En ese contexto, deberían utilizarse como progenitores masculinos a los genotipos con bajo nivel de IRr y mayor estabilidad dimensional (trabajo en ejecución) de *E. dunnii* y como progenitores femeninos a los mejores individuos del Programa de Mejoramiento de *E. grandis* que el INTA tiene en ejecución. Para ello, tendrían que establecerse Parques de Hibridación aislados a efectos de generar familias híbridas a través de cruzamientos controlados. Posteriormente establecer los ensayos de progenies híbridas para evaluar, seleccionar y clonar las mejores progenies e individuos.

## REFERENCIAS

**Alliani, R. C.; Bunse, G. C. y Gea, L. D., 1990.** Red de ensayos de especies de eucaliptos en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. En: Jornadas sobre eucaliptos para la región Pampeana. CIEF, Buenos Aires, Argentina: 29-37

**Baez, M., 1991.** Crecimiento comparativo de *Eucalyptus grandis* y *E. dunnii* en el Norte de Corrientes y Sur de Misiones: resultados a los 5 años. En: Jornadas sobre eucaliptos de alta productividad. CIEF, Buenos Aires, Argentina. Tomo I: 73-87.

**Bandara, K. M. A., 2006.** Genetic improvement of solid wood product value of subtropical eucalypts: A case study of *Eucalyptus grandis* and *E. dunnii*. PhD thesis, Australian National University, Canberra, Australia, 215 pp.

**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

**Darrow, W. K., 1995.** Selection of Eucalypt species for cold and dry areas in South Africa. *En: IUFRO Conference Eucalypt plantations: Improving Fibre Yield and Quality*, Hobart, Australia: 336-338

**Gilmour, A. R.; Cullis, B. R.; Welham, S. J. and Thompson, R., 1999.** ASREML reference manual. *Biomet Bull* Nº 3, NSW Agriculture, Orange, Australia.

**Glade, J. E. y Friedl, R. A., 1988.** Ecuaciones de volumen para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el Noreste de Entre Ríos. VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero. Tomo II. pp: 416-420

**Harwood, C.; Bandara, K.; Washusen, R.; Northway, R.; Henson, M. and Boyton, S., 2005.** Variation in wood properties of plantation-growth *Eucalyptus dunnii* relevant to solid-wood products. *Proyect Report PN 04.3003*. Forest and Wood Product Research and Development Corporation, Australia. 37 p.

**Higa, R. C. V.; Higa, A. R.; Trevisan, R. e Souza, M. V. R.. 1997.** Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. *En: Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus*. Salvador. Anais, v1: Estratégias de melhoramento genético. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997: 106-110.

**López (h.), J. A., 2005.** Mejoramiento genético de la calidad de la madera. *En: I Jornada sobre potencialidad foresto industrial del eucalipto en Santiago del Estero*. UNSE. FCF: 6 p.

**López (h.), J. A., 2008.** Actividades-Resultados 4º trimestre 2008 (TC). Proyecto Específico: Mejoramiento genético de eucaliptos para usos de alto valor. PNFOR 1201-INTA. (Informe interno). 1 p

**López (h.), J. A. y Staffieri, G. M., 2003.** Variación radial de la densidad de la madera de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* a los 21 años de edad. *En: XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos*. Concordia, Argentina. Actas en CD. 8 p.

**López (h.), J. A.; Genes, P. Y.; Hernandez, M.; Marcó, M. A.; Harrand, L. y Oberschelp, J., 2009.** Propiedades físicas, mecánicas y organolépticas de 10 clones de *Eucalyptus grandis* de 1ª generación del Programa de Mejoramiento Genético del INTA. EEA INTA Bella Vista. 26 p.

**Lynch, M. and Walsh, B., 1998.** *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.

**Maradei, D., 1987.** *Eucalyptus dunnii*: Primeros resultados en la Argentina. *En: Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales*. CIEF, Buenos Aires, Argentina, Tomo III: 43-52

**Marcó, M. A.; Alliani, R. C.; Sanchez Acosta, M. y Rembado, G., 1991.** *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* en la Región Mesopotámica y su zona de influencia. *En: VI Jornadas Forestales de Entre Ríos*: 83-97.

**Marcó, M. A. y López (h.), J. A., 1993.** Estrategia de mejoramiento de *E. grandis* y *E. dunnii* en la Mesopotamia Argentina. *En: Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Actas Comisión IV "Ciencia y Técnicas Aplicadas". Paraná, Entre Ríos, Argentina: 9 p.

**Marcó, M. A. and López (h.), J. A., 1995.** Performance of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in the Mesopotamia region, Argentina. *En: IUFRO Conference Eucalypt plantations: Improving Fibre Yield and Quality*, Hobart, Australia: 19-24.

**Marcó, M. A. and White, T. L., 2002.** Genetic parameter estimates and genetic gains for *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in Argentina. *Forest Genetics* 9 (3): 205-215.

**Murphy, T. N.; Henson, N. and Vanclay, J. K., 2005.** Growth stress in *Eucalyptus dunnii*. *Australian Forestry*. Vol. 68, Nº 2: 144-149

**Perucchi, H. O., 1991.** Evaluación de daños causados por las bajas temperaturas en ensayos de *Eucalyptus*. *En: Jornadas sobre eucaliptos de alta productividad*. CIEF, Buenos Aires, Argentina. Tomo I: 171-174.

**Pujato, J.; Marlats, R. M. y Gimenez, S., 1983.** *Eucalyptus dunnii*: datos sobre crecimiento y resistencia a las

heladas en el primer año. En: Actas V Congreso Forestal Argentino. Santa Rosa, La Pampa. Tomo II: 175-183.

**Repetti, R., 1987.** Situación y Aptitud Celulósica del Eucalipto en la Argentina. En: Segundas Jornadas del mes Forestal de Entre Ríos. Convenio Forestal INTA-IFONA-Provincia de Entre Ríos. Concordia, Argentina: 5-5.16.

**Rocha, M. P., 2000.** *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 185 p.

**Santos, P. E. T., 2002.** Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênes de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidad de São Paulo. Piracicaba. 153 p.

**Schacht, L.; Garcia, J. N. e Vencovsky, R., 2004.** Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. Scientia Forestalis nº 54, p: 55-68

**Stanger, T. K. 1993.** A preliminary investigation of the variation in bark thickness, density and susceptibility to splitting in *Eucalyptus dunnii* Maiden. ICFR Bulletin Series. Pietermaritzburg. South Africa. 3/93. 6 p.

**Sparnochia, L. J., 1991.** Estudio de las propiedades físico-mecánicas de *Eucalyptus dunnii* cultivado en Oliveros, Provincia de Santa Fe. En: Jornadas sobre eucaliptos de alta productividad. CIEF, Buenos Aires, Argentina. Tomo II: 367-375

**Yang, J. L. and Pongracic, S., 2004.** The impact of growth stress on sawn distortion an log end splitting of 32-years-old plantation Blue Gum. Forest and Wood Products Research and Development Corporation. Proyect N° P N03.1312. 34 p.

**Wei, X. and Borralho, N. M. G., 1998.** Use of Individual Tree Mixed Models to Account for Mortality and Selective Thinning When Estimating Base Population Genetic Parameters. Forest Science, Volume 44, Number 2, 1 May 1998 , pp. 246-253(8)

**Yoshida, M. and Okuyama, T., 2002.** Techniques for measuring growth stress on the xylem surface using strain and dial gauges. *Holzforchung* 56, 461–467