



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-303

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Desempeño en campo de distintas familias de *Pinus radiata* establecidas en un sitio con restricciones hídricas en Chile Central

ESPINOZA MEZA, S.<sup>1</sup>, SANTELICES MOYA, R.<sup>1</sup> y CABRERA ARIZA, A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Desarrollo para el Secano Interior, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile

### Resumen

*Pinus radiata* D. Don es una especie ampliamente cultivada a nivel mundial (~ 4,2 millones de hectáreas) que no es ajena a los negativos efectos que ejercerá el cambio climático sobre su supervivencia y productividad. Para estimar el comportamiento en campo de distintas poblaciones y generaciones de mejoramiento genético de la especie se estableció un ensayo un sitio con suelo arenoso en la zona de Chile central en el que se evaluó el crecimiento, supervivencia e intercambio gaseoso a los dos años de establecida la plantación. Se analizaron treinta familias de medios hermanos y hermanos completos procedentes de poblaciones de costa e interior y de tres generaciones de mejoramiento genético. El factor poblacional no presentó efectos significativos en la supervivencia e intercambio gaseoso, sin embargo, la generación de mejoramiento genético sí presentó efectos significativos para el crecimiento. Como era esperable, se observó un volumen, diámetro y altura superiores en la medida que las familias pasan desde la primera hacia la tercera generación de mejoramiento. Dado que no se observaron efectos significativos de la población y generación de mejoramiento sobre las variables de intercambio gaseoso, se puede inferir que el mejoramiento genético sólo ha influido en las variables de crecimiento para las cuales la especie fue originalmente seleccionada y que aún no se observa un efecto sobre el desempeño de la especie. En un contexto de cambio climático esto podría ser positivo ya que la especie mostraría una uniformidad fisiológica al ser cultivada en sitios con escasez de agua.

### Palabras clave

Pino radiata, mejoramiento, adaptación, suelos arenosos, supervivencia, conductancia estomática

### 1. Introducción

*Pinus radiata* D. Don es una especie ampliamente establecida alrededor del mundo dado que crece en una amplia gama de tipos de suelos y condiciones climáticas. La especie fue introducida en Chile alrededor de 1890 (LEWIS y FERGUSON 1993) probablemente procedente de Monterrey, se estableció inicialmente en sitios costeros con suelos metamórficos (CAMUS 2006) y luego se expandió a sitios interiores con suelos arenosos (ALBERT 1900). Posteriormente, hacia fines de la década del 70' se implementó un programa de mejoramiento genético utilizando un esquema de selección recurrente, que consiste en sucesivos ciclos de selección de árboles candidatos y sus cruza. En la actualidad, el programa ya lleva tres generaciones de mejoramiento para caracteres como crecimiento y forma y, a pesar de que hay evidencia de cambios no intencionados asociados al mejoramiento de la especie (LI y WU 2005), y de diferencias importantes entre distintas poblaciones y generaciones de mejoramiento genético en respuesta al estrés hídrico a nivel de vivero (ESPINOZA et al., 2013, 2014, 2016), no se ha investigado si estas diferencias persisten cuando se establecen diferentes poblaciones y generaciones de mejoramiento en sitios con restricciones hídricas, donde coexisten múltiples estreses bióticos y abióticos.

Diferencias en crecimiento, densidad de la madera y otros rasgos asociados al mejoramiento genético han sido ampliamente reportados para *P. radiata* en diferentes ensayos de campo (e.g. MEAD et al., 2015 y referencias internas), pero en el caso del desempeño fisiológico la información es escasa, a diferencia de lo reportado en especies sujetas a mejoramiento genético intensivo como *Pinus taeda* en las que sí se han reportado estudios de desempeño fisiológico asociado a mejoramiento genético (YANG et al., 2002). En el caso de *P. taeda* se han reportado similares valores de intercambio gaseoso en familias con mejoramiento genético (Mc GARVEY et al., 2004) y aquellas no mejoradas (CREGG et al., 1993). Esto podría indicar preliminarmente que los cambios en el crecimiento asociados al mejoramiento genético no están necesariamente asociados con cambios en el desempeño fisiológico.

Este trabajo examina las posibles consecuencias del programa de mejoramiento genético en la respuesta temprana en crecimiento e intercambio gaseoso en poblaciones de *P. radiata* en Chile, analizando la variación fenotípica en el crecimiento y el desempeño fisiológico de plantas establecidas en un sitio con severas restricciones hídricas. Se han escogido dos poblaciones y tres generaciones de mejoramiento genético de *P. radiata* que preliminarmente han mostrado marcadas diferencias a nivel de vivero (ESPINOZA et al., 2013, 2014, 2016).

### 2. Objetivos

Analizar la respuesta morfológica y fisiológica de familias de *P. radiata* pertenecientes a distintas poblaciones y generaciones de mejoramiento genético establecidas en un sitio con restricciones hídricas en Chile central.

### 3. Metodología

#### Material vegetal

Se seleccionaron dos poblaciones de *P. radiata*, una procedente de un sitio de arenales y otra de un sitio costero en Chile Central pertenecientes al programa de mejoramiento genético de la empresa Forestal Mininco S.A. Se obtuvo semilla de 30 familias que han sido seleccionadas para volumen, forma y densidad de madera, de las siguientes tres fuentes:

- 5 familias de polinización abierta obtenidas de árboles *plus* en plantación en sitios costeros e interiores (primera generación de mejoramiento),
- 18 familias de polinización abierta de sitios costeros e interiores obtenidos de huerto semillero de polinización abierta (segunda generación de mejoramiento), y
- 7 familias de polinización controlada de sitios costeros e interiores obtenidos de huerto semillero de polinización controlada (tercera generación de mejoramiento).

Las semillas se sembraron en contenedores de 140 mL rellenos con una mezcla de corteza compostada de pino radiata y perlita (8:2 v/v) y fertilizante de liberación lenta (Basacote™ plus 6M, en dosis de 3 kg m<sup>3</sup>). Después de la germinación las plantas se regaron diariamente de acuerdo con las prescripciones de vivero (es decir, dos veces al día) y se cultivaron durante nueve meses.

#### Descripción del sitio y establecimiento del ensayo

El ensayo se estableció en la localidad de Alcapan (Los Ángeles, Chile Central, 37° 12' S, 72° 10' W, 200 m.s.n.m) en un sitio con topografía plana. Los suelos de la zona son arenosos (93% de arena) con una capacidad de retención de agua inferior a 100 mm y bajos niveles de nitrógeno y fósforo total (HUBER y TRECAMAN, 2004). La precipitación media anual es de 1.154 mm y la precipitación invernal (es decir, de junio a agosto) es de 586 mm (ESPINOZA et al., 2013). La temperatura máxima de verano es de 35 °C y la duración del período seco es superior a 7 meses. La preparación del terreno consistió en un subsolado a una profundidad inferior a 50 cm. La plantación se estableció en julio de 2013 en un marco de plantación de 3 × 3 m y siguiendo un diseño de bloques completos al azar, con 9 bloques de 9 plantas por bloque (30 familias × 9 bloques × 9 plantas por familia y bloque = 2.430 plantas).

#### Evaluaciones morfológicas y supervivencia

En junio de 2015 se midieron la altura total (HT), el diámetro a la altura del cuello (D) y la supervivencia (SUP) a todas las plantas a la edad de 2 años de la plantación. La supervivencia se midió como una variable categórica (es decir, plantas vivas = 1, plantas muertas = 0).

#### Evaluaciones de intercambio gaseoso

En febrero de 2015 se tomó una muestra de tres plantas por familia y por bloque (i.e., 270 plantas) y se les midió el potencial hídrico al alba ( $\Psi$ , MPa), la fotosíntesis neta ( $A_n$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), la transpiración ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y la conductancia estomática ( $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Para esto se usó una cámara de presión (PMS Instrument Company, Corvallis OR) y un sistema portátil de fotosíntesis (modelo Li-6400XT, LI-COR Inc., Lincoln, NE, EE.UU.). Las mediciones de intercambio gaseoso se corrigieron por área foliar según GINN et al. (1991). La eficiencia del uso del agua (EUA,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) se calculó como la relación entre la tasa fotosintética neta y la conductancia estomática.

#### Análisis de datos

Las variables fueron analizadas con el método del modelo lineal general para análisis de varianza, con la suma de cuadrados tipo III por defecto, utilizando la versión 18 del software SPSS. Las comparaciones entre grupos para las variables categóricas (i.e., SUP) se realizaron mediante la prueba de Chi<sup>2</sup>. Los términos del modelo fueron ajustados de acuerdo con el diseño jerárquico del experimento, considerando a las familias anidadas dentro de las generaciones de mejoramiento genético y dentro de las poblaciones. El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + G(P)_{ij} + F(G(P))_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde  $P_i$  corresponde al efecto fijo de la  $i$ -ésima población (interior y costa),  $G(P)_{ij}$  es el efecto fijo de la  $j$ -ésima generación de mejoramiento (primera a tercera) anidada dentro de la  $i$ -ésima población,  $F(G(P))_{ijk}$  es el efecto aleatorio de la  $k$ -ésima familia (1 a 30) anidada dentro de la  $j$ -ésima generación de mejoramiento y anidada dentro de la  $i$ -ésima población, y  $e_{ijkl}$  es el error experimental.

#### 4. Resultados

##### Crecimiento y supervivencia

En el caso de la supervivencia y las variables de crecimiento analizadas, el factor población no presentó efectos significativos, sin embargo, la generación de mejoramiento genético y la familia influyó significativamente en el volumen y el crecimiento en diámetro y altura (Tabla 1). Las plantas más altas y con mayores diámetros se observaron en la segunda generación de mejoramiento en la población interior, mientras que la población costera experimentó un cambio moderado entre generaciones de mejoramiento.

##### Variables de intercambio gaseoso

Sólo se observaron diferencias significativas a nivel familiar para todas las variables analizadas (Tabla 1). Las familias de la primera generación de mejoramiento mostraron menores valores de fotosíntesis, conductividad estomática y transpiración en relación a las familias de la segunda generación. En el caso de la EUA, los valores máximos se produjeron en la primera generación de mejoramiento para ambas poblaciones, cuando la conductancia estomática fue baja en comparación con la segunda generación de mejoramiento.

1  
2

Tabla 1 Efecto de la población y generación de mejora en el rendimiento en campo de plantas de *P. radiata* de dos años establecidas en un sitio mediterráneo de Chile central (media  $\pm$  error estándar). Familia (F) anidada al interior de generación de mejora (G) y al interior de población (P). Valores significativos en negrita.

Variable	Población y generación de mejora							Nivel de significancia		
	Población		Interior							
	Interior	Costa	Primera	Segunda	Primera	Segunda	Tercera	P	G(P)	F(G(P))
HT	87,0 $\pm$ 1,05	84,8 $\pm$ 0,69	78,8 $\pm$ 1,78	90,8 $\pm$ 1,25	81,3 $\pm$ 2,14	83,6 $\pm$ 0,92	87,7 $\pm$ 1,18	0,33	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
D	20,2 $\pm$ 0,30	20,1 $\pm$ 0,19	18,6 $\pm$ 0,54	21,0 $\pm$ 0,35	19,3 $\pm$ 0,63	19,7 $\pm$ 0,25	21,1 $\pm$ 0,33	0,85	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
VOL	0,0046 $\pm$ 0,00	0,0044 $\pm$ 0,00	0,0037 $\pm$ 0,00	0,0051 $\pm$ 0,00	0,0040 $\pm$ 0,00	0,0042 $\pm$ 0,00	0,0049 $\pm$ 0,00	0,81	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>
SUP	75,9 $\pm$ 1,58	72,9 $\pm$ 1,07	73,3 $\pm$ 0,80	77,4 $\pm$ 1,90	72,2 $\pm$ 1,50	72,9 $\pm$ 1,40	73,2 $\pm$ 0,90	0,27	0,87	<b>0,00</b>
An	2,91 $\pm$ 0,19	3,29 $\pm$ 0,13	2,86 $\pm$ 0,28	2,94 $\pm$ 0,25	3,28 $\pm$ 0,42	3,40 $\pm$ 0,19	3,11 $\pm$ 0,23	0,22	0,89	<b>0,01</b>
E	0,65 $\pm$ 0,03	0,76 $\pm$ 0,03	0,64 $\pm$ 0,06	0,65 $\pm$ 0,04	0,78 $\pm$ 0,11	0,78 $\pm$ 0,04	0,71 $\pm$ 0,05	0,11	0,82	<b>0,00</b>
gs	0,022 $\pm$ 0,001	0,025 $\pm$ 0,001	0,021 $\pm$ 0,002	0,022 $\pm$ 0,001	0,025 $\pm$ 0,003	0,026 $\pm$ 0,001	0,024 $\pm$ 0,001	0,14	0,86	<b>0,01</b>
EUA	125,1 $\pm$ 5,4	124,3 $\pm$ 3,1	134,3 $\pm$ 8,1	120,4 $\pm$ 6,9	140,1 $\pm$ 6,1	121,0 $\pm$ 4,7	125,8 $\pm$ 4,6	0,99	0,46	<b>0,01</b>

3

HT = altura total (cm), D = diámetro a la altura del cuello (mm), VOL = volumen (m<sup>3</sup>), SUP = supervivencia (%), An = Fotosíntesis neta ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), E = Transpiración (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), g<sub>s</sub> = Conductancia estomática (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), EUA = Eficiencia en el uso del agua ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ ).

4

5

6

## 5. Discusión

### Crecimiento y supervivencia

Como era de esperar, se observó un aumento significativo en el volumen y crecimiento para la segunda generación de mejoramiento en comparación con la primera generación. Esto se explica porque las familias utilizadas en este estudio fueron seleccionadas originalmente por su diámetro y crecimiento superiores. Sin embargo, *P. radiata* típicamente crece hasta dos metros en el segundo año después del establecimiento (LEWIS y FERGUSON 1993, MEAD 2013), por lo que se atribuye el bajo crecimiento en este estudio a la baja disponibilidad de agua en el sitio de la plantación. Por otro lado, a pesar de que las familias utilizadas en este estudio provienen de orígenes ecológicos contrastantes, las diferencias de población en cuanto a supervivencia, diámetro y altura no fueron evidentes y pueden atribuirse al hecho de que en Chile el programa de mejoramiento genético de *P. radiata* ha seleccionado familias con un rendimiento estable en distintos sitios. Los mejoradores tienen por lo general el objetivo de desarrollar genotipos que sean satisfactorios para una amplia gama de condiciones (baja interacción genotipo × ambiente). No obstante, en el caso de aquellos sitios propensos a la sequía y de mala calidad, como el del presente estudio, se debiera evitar el uso de materiales mejorados, dado que su alto crecimiento demandará precipitaciones significativamente superiores a la media.

### Variables de intercambio gaseoso

Dado que en el programa de mejoramiento de *P. radiata* en Chile se ha centrado en la selección de individuos superiores para crecimiento y forma, se esperaba que las generaciones no mejoradas tuvieran un desempeño fisiológico menor que aquellas pertenecientes a generaciones de mejoramiento más avanzado, es decir, se esperaba que con el paso de tres generaciones de mejoramiento en *P. radiata* se hubiera aumentado el crecimiento y desempeño fisiológico de individuos altamente productivos (i.e., cambios no intencionados asociados al mejoramiento en Chile; ESPINOZA et al., 2014), sin embargo, y a pesar de que se compararon genotipos adaptados a diferentes condiciones de sitio, no se observaron diferencias en el desempeño fisiológico. Una posible explicación es el hecho de que la mayoría de los genotipos utilizados en este estudio provenían de selecciones costeras (70% de las familias estudiadas) pertenecientes a la segunda generación de mejoramiento (60% de las familias estudiadas). No obstante si se comparan las tasas de fotosíntesis de genotipos no mejorados de *P. taeda* (CREGG et al., 1993) versus aquellos mejorados (Mc GARVEY et al., 2004), tampoco se observan diferencias en el desempeño fisiológico. Esto podría ser ventajoso bajo condiciones ambientales cambiantes debido a que la captura de recursos y la productividad podrían ser más estables (BETTINGER et al., 2009). Por otro lado, los altos niveles de diversidad genética de la especie (ESPINOZA et al., 2012) también podrían haber mejorado la capacidad de amortiguamiento frente a restricciones ambientales, lo que podría dar como resultado un rendimiento fisiológico más uniforme.

## 6. Conclusiones

Si bien el análisis mostró un aumento de crecimiento y volumen, y uniformidad en el desempeño fisiológico entre las distintas generaciones de mejoramiento, se debe ser cuidadoso con la interpretación de estos resultados, especialmente los de tipo fisiológico debido a que el estudio se basó en observaciones locales y mediciones instantáneas realizadas en un número limitado y desbalanceado de familias. No obstante, y debido a que la sequía es un importante factor ambiental en los ecosistemas mediterráneos que limita la supervivencia y la productividad, los efectos del mejoramiento genético sobre el desempeño fisiológico (e.g., eficiencia del uso del agua) deben evaluarse para cuantificar el cambio global en las variedades comerciales en comparación con el material no mejorado y sus efectos sobre la productividad, especialmente al establecer plantaciones en sitios propensos a la sequía. En este ámbito, las mediciones integradas de flujo de savia y/o discriminación isotópica, podrían resultar más informativas y de apoyo a los programas de mejoramiento genético en *P. radiata*.

## 7. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por CONICYT (Proyecto N° 11121484). Agradecemos a la Dra. Verónica Emhart y al Sr. Alex Medina de Forestal Mininco S.A. por la producción de plantas para llevar a cabo este experimento y por el establecimiento del ensayo en campo.

## 8. Bibliografía

ALBERT, F.; 1900. Las Dunas O Sean Las Arenas Volantes, Voladeros, Arenas Muertas, Invasión de las Arenas, Playas I Médanos del Centro de Chile. Comprendiendo el Litoral Desde el Norte de la Provincia del Aconcagua Hasta el Límite Sur de la de Arauco. Cervantes. 227 p. Santiago.

- BETTINGER, P.; CLUTTER, M.; SIRY, J.; KANE, M.; PAIT, J.; 2009. Broad implications of southern United States pine clonal forestry on planning and management of forests. *Int Forest Rev* 11 331-345.
- CAMUS, P.; 2006. Ambiente, bosques y gestión forestal en Chile 1541-2005. Diban LOM. 374 p. Santiago.
- CREGG, B.M.; TESKEY, R.O.; DOUGHERTY, P.M.; 1993. Effect of shade stress on growth, morphology, and carbon dynamics of loblolly pine branches. *Trees* 7 208-213.
- ESPINOZA, S.; MAGNI, C.R.; MARTINEZ, V.; GAPARE, W.; CORDERO, C.; 2012. Genetic diversity and differentiation of Chilean land race of *Pinus radiata* D. Don using microsatellite DNA markers. *Silvae Genet* 61(6) 221-228.
- ESPINOZA, S.; MAGNI, C.; MARTÍNEZ, V.; IVKOVIĆ, M.; 2013. The effect of water availability on plastic responses and biomass allocation in early growth traits of *Pinus radiata* D. Don. *Forest Syst* 22 3-14.
- ESPINOZA, S.; MARTÍNEZ, V.; MAGNI, C.; IVKOVIĆ, M.; SANTELICES, R.; CABRERA, A.; 2014. Genetic control of growth, biomass allocation and survival under drought stress in *Pinus radiata* D. Don seedlings. *Tree Genet Genomes* 10(4) 1045-1054.
- ESPINOZA, S.; MAGNI, C.; SANTELICES, R.; IVKOVIĆ, M.; CABRERA, A.; 2016. Changes in drought tolerance of *Pinus radiata* in Chile associated with provenance and breeding generation. *Ann For Sci* 73 267-275.
- GINN, S.E.; SEILER, J.R.; CAZELL, B.H.; KREH R.E.; 1991. Physiological and growth responses of eight-year-old loblolly pine stands to thinning. *For Sci* 37 1030-1040.
- HUBER, A.; TRECAMAN, R.; 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque* 25(3) 33-43.
- LEWIS, N.B.; FERGUSON, I.S.; 1993. The Chilean radiata pine sector. En: SUTTON, W.R.; DONALD, D.M.G.; LISBOA, H.B.; (eds.): Management of Radiata pine (pp. 365-379). Inkata Press. Melbourne.
- LI, L.; WU, H.X.; 2005. Efficiency of early selection for rotation-aged growth and wood density traits in *Pinus radiata*. *Can J For Res* 35 2019-2029.
- MEAD D.J.; 2013. Sustainable management of *Pinus radiata* plantations. FAO Forestry Paper No. 170. Rome.
- MCGARVEY, R.C.; MARTIN, T.A.; WHITE, T.L.; 2004. Integrating within crown variation in net photosynthesis in loblolly and slash pine families. *Tree Physiol* 24 1209-1220.
- YANG, W.Q.; MURTHY, R.; KING, P.; TOPA, M.A.; 2002. Diurnal changes in gas exchange and carbon partitioning in needles of fast- and slow growing families of loblolly pine (*Pinus taeda*). *Tree Physiol* 22 489-498.