2025 GIJÓN | 16·20 JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1346

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025**.
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza

Control genético y plasticidad fenotípica ante la restricción hídrica en procedencias costeras y de arenalesde *Pinus radiata* D. Don: Síntesis de resultados de vivero y campo

ESPINOZA MEZA. (1), MAGNI DÍAZ C. (2), YAÑEZ ARCE M. (3) y MARTINEZ HERRERA E. (2)

(1) Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca, Chile
(2) CESAF. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, Avenida Santa Rosa 11365, La Pintana, Chile.
(3) College of Forestry, Agriculture, and Natural Resources, University of Arkansas at Monticello, 110 University Ct, Monticello, AR 71656

Resumen

En este trabajo resumimos los principales resultados relacionados con el efecto de la restricción hídrica sobre el crecimiento, asignación de biomasa e intercambio gaseoso en procedenciasde *Pinus radiata* de sitios costeros y de arenales. Establecimos un ensayo de vivero con plantas de cinco meses de edad sometidas a un tratamiento de riego diario y otro de restricción hídrica (potencial hídrico pre-alba de -1,5 MPa). Se analizaron la heredabilidad y los patrones de asignación de biomasa. En un segundo ensayo, establecimos en un sitio con baja capacidad de agua aprovechable una muestra del material de las procedencias anteriores y evaluamos crecimiento, supervivencia e intercambio gaseoso al segundo año. En el ensayo de vivero las plantas de la procedencia de arenas sometidas a restricción hídrica asignaron más biomasa hacia la parte aérea, mientras que las plantas de la procedencia de costa asignaron hacia la raíz (mayor cociente raíz:tallo). La heredabilidad (h2) para la supervivencia en restricción hídrica fue de 0,14 y 0,00 para procedencias de arenas y costeras, respectivamente. En campo se observó que la fotosíntesis, la transpiración y la conductancia estomática fueron 12, 14 y 12% menores en la procedencia de arenas. Esta procedencia tienden a usar el agua de manera conservadora y podría ser establecida en sitios con restricciones hídricas.

Palabras clave

Pino radiata, sequía, mejoramiento genético, cociente raíz:tallo, heredabilidad.

1. Introducción

Pinus radiata D. Don es una especie que tiene una amplia adaptabilidad y alta plasticidad, lo que le ha permitido desarrollarse exitosamente en condiciones climáticas distintas a las de su origen natural (ZOBEL y TALBERT 1992). Ha sido introducido en diversas regiones del mundo y ha demostrado tener un rendimiento superior al registrado en su hábitat natural. En Chile la especie fue introducida hacia el año 1890 (CAMUS 2006) y actualmente es uno de los pilares de la industria forestal nacional. Actualmente las plantaciones de *P. radiata* se extienden en una amplia zona (33°- 41° S), con precipitaciones que van desde los 450 a los 2.300 mm e importantes variaciones edáficas que dan origen a cambios

significativos en la productividad de la especie, siendo el régimen hídrico el principal factor que explica las diferencias en productividad (GERDING Y SCHLATTER 1995). Sin embargo, a pesar de la relevancia de las plantaciones de *P. radiata* en la economía chilena y de que se espera que en el futuro los eventos de sequía se intensifiquen a nivel global; afectando el establecimiento y productividad de la especie, el conocimiento sobre su respuesta frente a la escasez hídrica y el grado de control genético aún es insuficiente.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar la plasticidad fenotípica y control genético en variables morfológicas y fisiológicas en procedencias costeras y de arenales de *P. radiata* cultivadas y establecida en condiciones de restricción hídrica.

3. Metodología

El material genético correspondió a 98 familias de medios hermanos procedentes de sitios costeros (49 familias) y sitios arenosos (49 familias) del programa de mejoramiento genético de la empresa forestal chilena CMPC. Los sitios costeros poseen suelos de origen granítico-metamórfico, precipitaciones anuales en el rango de los 450 a 1300 mm y una capacidad de agua aprovechable cercana a los 400 mm. En los sitios de arenales el material parental contiene un alto porcentaje de arenas, la precipitación bordea los 1100 mm por año y la capacidad de agua aprovechable es menor a 100 mm. La siembra se realizó en contenedores de 140 cm3 de capacidad y 88 alvéolos, rellenos con sustrato en base a corteza de pino compostada y perlita en una relación 8:2. Las plantas se dejaron crecer en condiciones normales de vivero hasta aproximadamente veinte semanas de edad (septiembre del 2012 hasta enero del 2013). Durante ese período, el riego fue diario. Durante la semana veintiuna las plantas fueron sometidas a dos regímenes de riego, basados en el potencial hídrico al alba (ψpd) medido con bomba de Scholander: (1) tratamiento control (R+), en el que las plantas se regaron diariamente a capacidad de campo manteniendo un ψpd de -0,05 MPa y (2) tratamiento de restricción hídrica (R-) en el que se aplicaron tres ciclos de simulación de sequía, consistentes en suspensión del riego por 13 días consecutivos, seguidos de un ciclo de un día de rehidratación, manteniendo un ψpd en torno a -1,5MPa. Al finalizar los ciclos de restricción hídrica se midió el diámetro (D, mm) y altura (H, cm) y luego las plantas fueron cosechadas para determinar peso seco de raíces (PSR, g) y de la parte aérea (PSA, g). Con esas variables se calculó el cociente raíz:tallo (adimensional) como CRT = PSR/PSA. La supervivencia (SUP, %) se registró como característica categórica (1 = vivo, 0 = muerto).

En agosto del 2013 se estableció un ensayo de campo con un subconjunto de 30 familias del ensayo anterior. Se construyó un índice de selección basado en la supervivencia y cociente raíz:tallo en el ensayo de restricción hídrica en vivero y se escogieron 15 familias de costa y 15 de arenas con desempeño superior para ambas variables. El ensayo se estableció en las cercanías de Los Ángeles, Chile central (37°12’ S, 72°10’ O, 200 m.s.n.m.) en un sitio plano con suelos arenosos (93%

arena), baja capacidad de retención de agua (<100 mm) (HUBER y TRECAMAN 2004) y precipitaciones anuales en el rango de los 553-619 mm. La plantación siguió un diseño de bloques completos al azar con 9 bloques y parcelas de 9 árboles cada una, representando una familia (total de 2,430 plantas). Transcurridos dos años desde la plantación se midió la supervivencia (SUP, %) como característica categórica (1 = vivo, 0 = muerto) y en el verano del segundo año (enero del 2015) se midió la fotosíntesis saturada (Asat, µmol CO2 m−2 s−1), transpiración (E, mmol H2O m−2 s−1) y conductancia estomática (gs, mol H2O m−2 s−1) con medidor portátil de fotosíntesis LICOR 6400XT.

Los datos fueron analizados mediante un diseño jerárquico, considerando las familias anidadas dentro las procedencias. Para las características en estudio del ensayo de vivero se estimó la heredabilidad en sentido estricto (h2) y además se analizó el patrón de asignación de biomasa mediante análisis de varianza (ANOVA). El factor riego se consideró como fijo y las familias anidadas dentro de las procedencias fueron consideradas aleatorias.En el caso del ensayo de campo se utilizó ANOVA para analizar las diferencias en el desempeño fisiológico y supervivencia en las distintas familias. En este ensayo las procedencias fueron fijas y las familias anidadas dentro de las procedencias se consideraron como aleatorias. En ambos ensayos la supervivencia se analizó mediante un modelo lineal generalizado con distribución binomial y función de enlace logit. Los datos se analizaron con software ASREML (GILMOUR et al. 2005) y SPSS IBM Corp.

4. Resultados

Dada que el centro de atención de nuestra investigación es la escasez de agua, los resultados de vivero de nuestras investigaciones se sintetizan para la condición de restricción hídrica (R-). En este tratamiento h2 para la mayor parte de las variables evaluadas fue mayor en las familias de arenas (Tabla 1), destacando una h2 de 0,14 para la supervivencia. En términos de asignación de biomasa, las familias de arena tuvieron un mayor crecimiento y, aunque las familias de arenas tuvieron mayor biomasa radical (PSR), las familias de costa asignaron una mayor proporción de biomasa hacia la zona radical en relación con las familias de arenas (mayor CRT) (Tabla 2). En el caso del ensayo de campo, se observó que la fotosíntesis, la transpiración y la conductancia estomática fueron 12, 14 y 12% menores en las familias de arenas y que la supervivencia fue de un 4% mayor en estas mismas familias (Tabla 3).

Tabla 1. Estimación de heredabilidad (h2) ± error estándar para las familias de sitios costeros y arenales en el tratamiento de restricción hídrica.

D (mm)	H (cm)	SUP (%)	CRT	
		Procedencia		
Arenas	0,42±0,13	0,48±0,08	0,14±0,09	0,32±0,11
Costa	0,27±0,12	0,37±0,12	0,00±0,00	0,31±0,14

D = diámetro de cuello, H = altura, SUP = supervivencia, CRT = cociente raíz:tallo.

Tabla 2. Crecimiento y asignación de biomasa en el tratamiento de restricción hídrica en vivero

D (mm)	H (cm)	SUP (%)	CRT	
		Procedencia		
Arenas	2,78±0,00a	24,30±0,09a	38,4b	1,38±0,01b
Costa	2,67±0,00b	21,72±0,08b	47,0a	1,56±0,02a

D = diámetro de cuello, H = altura, SUP = supervivencia, CRT = cociente raíz:tallo. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (P < 0,05).

Tabla 3. Desempeño fisiológico y supervivencia en las procedencias de P. radiata establecidas en campo

Asat	(	μ	mol CO2 m−2 s−1)	gs	(mol H2O m−2 s−1)	E	(mmol H2O m−2 s−1)	SUP	(%)
					Procedencia				
Arenas	2.91±0.19b	0.022±0.001 b	0.65±0.03b			75.9±1.58a			
Costa	3.29±0.13a	0.025±0.001 a	0.76±0.03a			72.9±1.07b			

Asat = Fotosíntesis saturada, gs = conductancia estomática, E = transpiración, SUP = Supervivencia. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (P < 0,05).

5. Discusión

Posterior a la aplicación de los ciclos de restricción hídrica en el ensayo en vivero se observó que las familias procedentes zonas de arenales, caracterizadas por tener suelos con baja capacidad de retención de agua y alto déficit de presión de vapor de la atmósfera (GERDING y SCHLATTER 1995, HUBER y TRECAMAN 2002), exhiben mejores crecimientos que familias procedentes de áreas costeras. Según la teoría de la especialización (LORTIE y AARSSEN 1996), genotipos adaptados a ambientes favorables presentarán un comportamiento superior en dichos ambientes, pero inferiores cuando las condiciones sean limitantes. Por el contrario, los genotipos adaptados a condiciones de escasez pueden resultar superiores en ambientes limitantes, pero serán incapaces de aprovechar condiciones favorables.

En nuestras investigaciones durante los últimos 15 años hemos observado que las familias de *P. radiata* cuyos progenitores se desarrollaron en zonas de sitios arenosos presentaron un comportamiento acorde con esta teoría, es decir, tienen un crecimiento superior frente a la restricción hídrica, pero inferior en condiciones favorables. Además, nuestros resultados muestran que h2 para la supervivencia en el tratamiento R- fue baja pero positiva para familias de arenas, a diferencia de las familias de costa que tienen heredabilidad nula. Lo anterior implicaría que los progenitores de sitios arenosos son capaces de producir descendencia con alta capacidad para sobrevivir en condiciones de restricción hídrica. Nuestros resultados de h2 son similares a las estimaciones de IVKOVIĆ et al. (2009) para ensayos de campo de *P. radiata* en el área de bajas precipitaciones en Australia. Por su parte, las familias de los sitios costeros tienen un menor crecimiento pero mayor supervivencia en la condición R-, la que podría estar asociada a un mayor cociente raíz:tallo y a que esta característica tiene una h2 moderada. En el ensayo de campo, las familias de suelos arenosos parecieran mostrar una estrategia más conservadora de uso del agua, lo que influyó en su mayor supervivencia. Esta respuesta pudo haber sido influenciada por las presiones ambientales donde se desarrollaron los progenitores fundadores (zona de Arenales), ya que condiciones de sitio como baja capacidad de agua aprovechable y alto déficit de presión de vapor en esas zonas (HUBER y TRECAMAN 2002), forzaron a las plantas a permanecer con estomas cerrados la mayor parte del día, con tasas de fotosíntesis más bajas.

6. Conclusiones

Las familias de *P. radiata* procedentes de sitios arenosos con restricciones hídricas para el crecimiento presentan adaptaciones que podrían haber aumentado su tolerancia a la sequía. Poseen una heredabilidad baja para la supervivencia en condiciones de escasez de agua en vivero y además utilizan el agua de manera más conservadora en campo. Los sitios de suelos arenosos en Chile central tienen una menor capacidad de retención de agua y el agua del suelo se agota fácilmente. En esas condiciones, las familias de arenas podrían conformar una futura raza local con mayor tolerancia a la sequía.

7. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONYCIT) (Proyecto de Iniciación en la Investigación N° 11121484 “Identificación de familias de *Pinus radiata* D. Don aptas para establecerse en zonas de secano”). Los autores agradecen el aporte de Forestal Mininco S.A. por proporcionar las semillas para la realización del experimento en vivero, y el establecimiento y medición de los ensayos en sus campos. Especial mención para la Dra. Verónica Emhart, Ing. Lionel Rivera y Mg. Alex Medina. Se agradece a la Universidad Católica del Maule (a través el Centro del Secano Interior) por brindar las instalaciones en vivero, laboratorio y equipamiento.

8. Bibliografía

CAMUS, P. 2006. Ambiente, bosques y gestión forestal en Chile 1541-2005. Diban LOM. 382 p. Chile.

GERDING, V.; SCHLATTER, J. 1995. Variables y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile. *Bosque* 16(2) 39-56

GILMOUR, AR.; GOGEL, BJ.; CULLIS, BR.; THOMPSON, R. 2005. ASReml User Guide Release 2.0, VSN International Ltd, Hemel Hempstead HP1 1ES, UK

HUBER, A.; TRECAMAN, R. 2002. Efecto de la variabilidad interanual de las precipitaciones sobre el desarrollo de plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) en la zona de los arenales VIII Región, Chile. *Bosque* 23(2) 43-49

HUBER, A.; TRECAMAN, R. 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque* 25(3) 33-43

IVKOVIĆ, M.; BALTUNIS, B.; GAPARE, W.; WHARTON, T.; ELMS, S.; SASSE, J.; DUTKOWSKI, G.; POWELL, M.; MCRAE, T.; WU, H. 2009. Breeding Radiata Pine to Maximise Profits by Incorporating Risk Traits. Forest & Wood Products Australia. Project Number: PNC069-0708. 78 pp

LORTIE, CJ.; AARSSEN, LW. 1996. The specialization hypothesis for phenotypic plasticity in plants. *Int J Plant Sci* 157 484-487

ZOBEL, B.; TALBERT, J. 1992. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Editorial Limus. Noriega Editores. 545 p. México