



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-251

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009
ISBN: 978-84-936854-6-1
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Adaptación de procedencias de *Pinus halepensis* en las margas del Valle del Duero: crecimiento, supervivencia y caracteres reproductivos.

CLIMENT MALDONADO, J.¹, CHAMBEL, M.R.¹, DEL CAÑO PRIETO, F.¹, LÓPEZ RODRÍGUEZ, R.² y ALIA MIRANDA, R.¹

¹ Departamento de Sistemas y Recursos Forestales. CIFOR-INIA.

² U.D. Anatomía y Fisiología Vegetales. ETSI Montes, UPM.

Resumen

Analizamos el resultado de la medición de un ensayo de procedencias instalado en 1995 en Megeces (Valladolid), con 29 procedencias de pino carrasco de toda el área natural en España, más tres procedencias locales de origen desconocido. A los diez años de la plantación medimos la supervivencia, altura total y diámetro, y el nº piñas de las distintas cohortes. La diferenciación entre procedencias fue elevada tanto para el crecimiento en volumen como para la supervivencia y reproducción femenina. La diferencia relativa entre la mejor y peor procedencia alcanza, para el volumen con corteza hasta el 101 %, y en supervivencia hasta el 64 %. Si asumimos una correlación directa entre volumen del tronco y biomasa, e integrando crecimiento y supervivencia por procedencia, la mejor procedencia habría generado un 145% más de biomasa que la peor. Dado que el ranking de las procedencias fue muy diferente para cada carácter, proponemos un índice de idoneidad para el uso basado en tres criterios de utilización con distintos pesos de cada carácter.

Palabras clave

pino carrasco, esfuerzo reproductor, adaptabilidad, variación intraespecífica, reforestación

1. Introducción

El pino carrasco ha sido ampliamente utilizado en reforestación en zonas más frías que las de su área de distribución natural cuando la precipitación es demasiado escasa para otras especies oromediterráneas. Entre estas zonas se destacan las cuestas y tesos margosos de la cuenca del Duero, muy alejadas de las principales masas naturales de la especie. El éxito desigual de estas reforestaciones podría deberse en parte a diferencias adaptativas entre procedencias, de forma semejante a lo observado en otras especies genéticamente afines como *Pinus pinaster* (ALIA *et al.* 1997) o *P. canariensis* (CLIMENT *et al.* 2006). Como contrapunto, otra especie próxima genética y ecológicamente como *Pinus pinea* ha demostrado una ausencia casi total de diferenciación genética adaptativa (MUTKE *et al.* in prep). Los resultados existentes hasta ahora para el pino carrasco no sostienen una importante diferenciación de origen geográfico para caracteres de crecimiento (CHAMBEL & ALÍA 2002), pero sí para otros como la eficiencia en el uso del agua (VOLTAS *et al.* 2008), la plasticidad en el desarrollo (CHAMBEL *et al.* 2007) y sobre todo, los caracteres reproductivos (CLIMENT *et al.* 2008). En todo caso, la escasa diferenciación genética en ambientes relativamente favorables no descarta que sí exista cuando concurren factores limitantes, como las bajas temperaturas o combinaciones de frío y sequía que no son frecuentes en el rango natural de la especie.



Por otra parte, si existen de hecho diferencias genéticas entre materiales, la *adaptación* de un determinado material, entendido como adecuación para un determinado uso, debería medirse dando un distinto peso a los distintos caracteres (crecimiento, supervivencia, capacidad reproductiva, etc.) dependiendo del objetivo de las reforestaciones.

2. Objetivos

- Conocer el grado de control genético y la variación entre y dentro de procedencias para crecimiento, supervivencia y caracteres reproductivos.
- Establecer recomendaciones de uso de los materiales ensayados para distintos criterios de utilización.

3. Metodología

El ensayo consta de 29 procedencias que cubren todo el área natural de *Pinus halepensis* en la Península Ibérica y Baleares, más tres procedencias locales de origen desconocido (Tabla 1). Cada procedencia está representada por un número variable de familias (1-5) y la parcela experimental está formada por 2 plantas por familia y bloque. El diseño consiste en siete bloques completos al azar.

Tabla 1. Listado y localización de las procedencias ensayadas

Código	Tº municipal	Reg. Procedencia	Long	Lat
11	Cabanellas	1. Alta Cataluña	2°47' E	42°14' N
21	Tivissa	2. Cataluña Lit.	0°00' E	41°03' N
31	Sant Salvador de Guardiola	3. Cataluña Int.	1°45' E	41°40' N
51	Luna	4. Bardenas-Ribagorza	0°00' W	42°13' N
61	Zuera	6. Depr. Ebro	0°55' W	41°55' N
62	Villanueva de Huerva	6. Depr. Ebro	1°03' W	41°21' N
71	Hijar	6. Depr. Ebro	0°25' W	41°06' N
72	Monroyo	5. Ibérico Aragonés	0°01' E	40°47' N
81	Valtablado del Río	7. Alcarria	2°23' W	40°44' N
82	Valdeconcha	7. Alcarria	2°52' W	40°26' N
92	Tuéjar	9. Maestrazgo-LS	1°09' W	39°49' N
101	Tibi	10. Lev. Interior	0°38' W	38°31' N
102	Altura	9. Maestrazgo-LS	0°36' W	39°47' N
103	Villa de Ves	10. Lev. Interior	1°14' W	39°10' N
111	Benicasim	11. Lit. Levantino	0°01' E	40°04' N
131	Villajoyosa	13. Sudeste	0°18' W	38°29' N
141	Ricote	14. Betica Sept.	1°25' W	38°08' N
144	Paterna	14. Betica Sept.	2°16' W	38°37' N
152	Benamaurel	15. Betica Merid.	2°44' W	37°42' N
153	Velez Blanco	14. Betica Sept.	2°00' W	37°47' N
154	Santiago de la Espada	14. Betica Sept.	2°28' W	38°13' N
155	Quesada	15. Betica Merid.	3°09' W	37°44' N
161	Cazorla	16. Cazorla	2°47' W	38°06' N
171	Lentegi	17. Sur	3°41' W	36°49' N
172	Carratraca	17. Sur	4°50' W	36°50' N
173	Frigiliana	17. Sur	3°55' W	36°49' N
181	Escorca	18. Mallorca y Menorca	2°53' E	39°49' N
182	Palma de Mallorca	18. Mallorca y Menoría	2°56' E	39°08' N
183	Santanyí	18. Mallorca y Menoría	3°02' E	39°17' N
201	Valbuena de Duero	Local	4°17' W	41°39' N
202	Vega de Valdetrongo	Local	5°04' W	41°35' N
203	Villavieja de Tordesillas	Local	4°55' W	41°36' N



La plantación se llevó a cabo en el invierno de 2005-2006, con plantas de una savia en hoyos manuales tras un laboreo mecánico del terreno, a un marco de 2 x 2,5 m. El sitio de ensayo se encuentra en el término municipal de Megeces (Valladolid) a 4°33'30''O; 41°25'18''N a 779 m de altitud en una cuesta caliza de pendiente suave (<15%) orientada al sur (Figura 1). La temperatura media es de 12,1°C, con mínima de Enero de -0,1°C. La precipitación alcanza 413 mm anuales, de los cuales 66 mm caen en verano. El sitio puede considerarse típicamente representativo de zonas más frías del valle del Duero susceptibles de reforestación con esta especie.



Figura 1. Vista del sitio de ensayo en una cuesta caliza en Megeces (Valladolid)

A los diez años de la plantación, en noviembre de 2005, medimos la supervivencia (Sup , como variable binaria), la altura total (H), el diámetro a 20 cm de la base (D_b) y el número de piñas de uno, dos o más años. El diámetro basal se emplea rutinariamente en vez del diámetro normal en mediciones de ensayos genéticos en los primeros estados de desarrollo. Con estas últimas variables elaboramos dos variables sintéticas: volumen del tronco con corteza, aproximado por un cono ($V_{cc}=1/3 H D_b^2$) y reproducción femenina (R_f : suma de las piñas y estróbilos de las tres últimas cohortes). Aún siendo inexacta, preferimos esta aproximación sencilla para el cálculo del volumen frente a ecuaciones de cubicación más complejas debido a las diferencias en forma y estado de desarrollo entre familias y procedencias. Los análisis posteriores se basaron en las tres variables V_{cc} , R_f y Sup .

Para V_{cc} y R_f , el análisis de los datos se llevó a cabo mediante un modelo lineal general, incluyendo los efectos Bloque, Procedencia, Familia dentro de procedencia y la interacción Procedencia por Bloque. Para mejorar la normalidad de la distribución y la homogeneidad de los residuos se aplicaron las transformaciones raíz cuadrada (para V_{cc}) y logaritmo neperiano (para R_f). La supervivencia se analizó con un modelo lineal generalizado para distribución binomial, usando como función de enlace la *Logit*, e incluyendo sólo los factores procedencia, bloque y su interacción. En los tres casos se



obtuvieron las medias ajustadas (*LS means*) por procedencia. A partir de los ANOVA se obtuvieron las componentes de la varianza V_f (varianza familiar sin considerar la procedencia), V_p (varianza debida a la procedencia), $V_{f(p)}$ (varianza familiar dentro de procedencias), V_{pxb} (varianza debida a la interacción procedencia x bloque) y V_e (varianza residual). Con estos valores, se obtuvieron la heredabilidad en sentido estricto, h^2 , considerando un grado de parentesco intermedio entre medios hermanos y hermanos completos (de donde la varianza genética aditiva se asume como $3V_f$) y el coeficiente de diferenciación cuantitativa entre procedencias, Q_{st} , según las ecuaciones:

$$h^2 = \frac{3V_f}{V_f + V_{pxb} + V_e} \quad Q_{st} = \frac{V_p}{V_p + 2 \cdot 3V_{f(p)}}$$

Por último, tras un análisis de componentes principales con las tres variables respuesta, que confirmó sólo una dimensión con autovalor mayor que uno, calculamos un índice de idoneidad (semejante a un índice de selección) para cada procedencia basado en una ecuación lineal:

$$I = p_v \cdot V_{st} + p_s \cdot Sup_{st} + p_r \cdot R_{st}$$

Donde V_{st} , Sup_{st} y R_{st} son los valores estandarizados de las medias ajustadas por procedencias para V_{cc} , Sup y R_f respectivamente y p_v , p_s y p_r son los pesos asignados subjetivamente a crecimiento en volumen, supervivencia y reproducción en función de los distintos criterios de uso. Para el Criterio 1 (uso general), aplicamos el mismo peso 1/3, para las tres variables. Para el Criterio 2 (producción), aplicamos los pesos 2/3, 1/3, 0, y para el Criterio 3 (resiliencia) aplicamos los pesos 1/6, 3/6, 2/6.

4. Resultados

Diferenciación genética entre y dentro de procedencias

Para el volumen con corteza de las plantas vivas (V_{cc}), todos los efectos fueron significativos, en primer lugar el bloque ($F=44.09^{***}$), seguido por la procedencia ($F=2.89^{***}$), la familia dentro de procedencia ($F=1.44^{**}$) y la interacción procedencia x bloque ($F=1.38^{**}$). Dada la significación de esta última interacción, testamos el efecto procedencia frente a dicha interacción como término de error para la prueba F, obteniendo en este caso un valor de $F=2.09^{**}$. La heredabilidad en sentido estricto (h^2) para V_{cc} es 0.14 (moderadamente baja) y el coeficiente de diferenciación genética cuantitativa (Q_{st}) = 0.43 (moderadamente alta).

Para R_f , la familia dentro de procedencia no fue significativa. El factor procedencia frente a la interacción resultó muy significativo ($F=2.38^{***}$).

La supervivencia general en la parcela fue el 68%, con un efecto significativo de la procedencia (p de Wald = 0.027), pero con un efecto aún mayor del bloque (p de Wald = 0.008).

Ranking de procedencias y recomendaciones de uso

La ordenación de las procedencias a partir de las medias ajustadas por mínimos cuadrados, condujo a un ranking extremadamente diferente para cada una de las tres variables analizadas (Figura 2), lo que justifica la necesidad de emplear un índice multi-carácter. Atendiendo a los tres criterios descritos -uso general, producción o resiliencia-



se pueden establecer recomendaciones positivas o negativas para el uso de los materiales (Tabla 2). Cuatro procedencias, en concreto las de Villa de Ves (Albacete), Velez Blanco (Almería), Santiago de la Espada (Jaén) y Sant Salvador de Guardiola (Barcelona) son las mejor puntuadas bajo los tres criterios. Entre los materiales locales, cabe destacar la procedencia Valbuena de Duero, como la de mejor comportamiento, si bien se ve superada por las anteriormente mencionadas. En contraste, la procedencia local de Vega de Valdetronco se encuentra entre las diez peores bajo un criterio productivo.

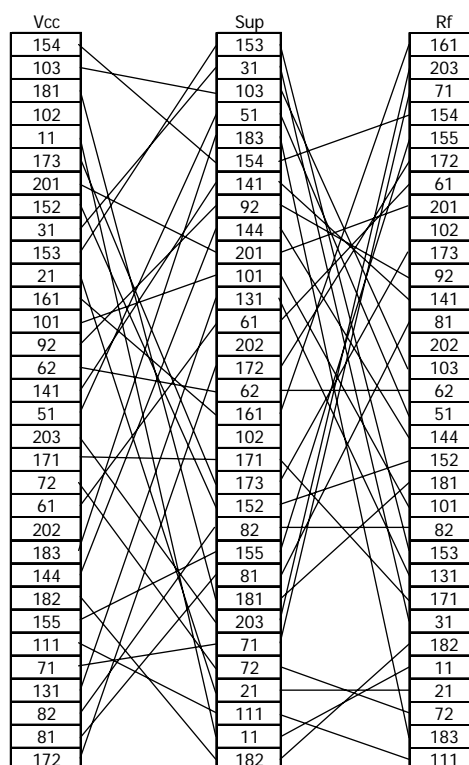


Figura 2. Cambios de ranking de las 32 procedencias ensayadas para las tres variables analizadas: volumen con corteza (V_{cc}), supervivencia (Sup) y reproducción femenina (R_f)

5. Discusión

Los resultados obtenidos muestran una elevada diferenciación genética entre procedencias de pino carrasco en el sitio de ensayo. La diferencia relativa entre la mejor y peor procedencia alcanza, para el volumen estimado con corteza hasta el 101 %, y en supervivencia hasta el 64 %. Si asumimos una correlación directa entre volumen del tronco y biomasa, e integrando crecimiento y supervivencia por procedencia, la mejor procedencia habría generado un 145% más de biomasa que la peor. Estos resultados contrastan con los obtenidos en ensayos bajo condiciones menos limitantes, los cuales habían mostrado una menor diferenciación para el crecimiento y supervivencia (CHAMBEL 2006). Esta disparidad es coherente con la idea de que las condiciones nuevas o extremas pueden poner de manifiesto una combinación oculta de variación genética y plasticidad fenotípica que no se aprecia en el rango ambiental natural de la especie (SCHLICHTING & SMITH 2002).



Por otra parte, la elevada diferenciación entre procedencias para los caracteres reproductivos femeninos concuerda con el patrón observado en otros ensayos (CLIMENT et al. 2008).

El efecto relativamente escaso de la familia dentro de procedencia para los caracteres evaluados es una buena noticia para el uso de los materiales de reproducción de fuentes semilleras o rodales selectos, ya que permite una mayor predictibilidad del comportamiento considerando sólo el origen geográfico. El resultado estará sobre todo condicionado por las diferencias en plasticidad fenotípica de cada material de base (CHAMBEL & ALÍA 2002). Atendiendo a las tablas 1 y 2, se aprecia una gran variabilidad de comportamiento de los materiales de la misma Región de Procedencia, con la excepción de las Sierras Béticas. Por otra parte, la similitud en las condiciones climáticas de origen explica sólo una parte de estas diferencias: en concreto, los materiales de la Región 7, Alcarria (nos. 81 y 82) se comportaron deficientemente pese a presentar la mayor proximidad ecológica al sitio de ensayo (datos no mostrados), inmediatamente después de los materiales locales.

Tabla 2. Puntuación de las procedencias ensayadas atendiendo a tres criterios de utilización. En negrita se han señalado las procedencias locales de origen desconocido. Se incluyen las diez de mayor puntuación (recomendables) y las diez de menor puntuación (no recomendables), en orden decreciente de puntuación.

Recomendación de uso	Orden	Criterio 1 Uso general	Criterio 2 Producción	Criterio 3 Resiliencia
Recomendables	1	Santiago de la Espada	Villa de Ves	Villa de Ves
	2	Villa de Ves	Santiago de la Espada	Velez Blanco
	3	Cazorla	Velez Blanco	Santiago de la Espada
	4	Velez Blanco	Sant Salvador de Guardiola	Sant Salvador de Guardiola
	5	Sant Salvador de Guardiola	Altura	Luna
	6	Luna	Escorca	Cazorla
	7	Altura	Luna	Valbuena de Duero
	8	Valbuena de Duero	Valbuena de Duero	Tuéjar
	9	Villavieja de Tordesillas	Frigiliana	Ricote
	10	Tuéjar	Tuéjar	Altura
No recomendables	23	Carratraca	Vega de Valdeironco	Hijar
	24	Cabanellas	Paterna	Villajoyosa
	25	Villajoyosa	Villajoyosa	Santanyí
	26	Tivissa	Quesada	Valtablado del Río
	27	Valtablado del Río	Valdeconcha	Valdeconcha
	28	Santanyí	Hijar	Cabanellas
	29	Valdeconcha	Benicasim	Monroyo
	30	Monroyo	Valtablado del Río	Tivissa
	31	Palma de Mallorca	Carratraca	Benicasim
	32	Benicasim	Palma de Mallorca	Palma de Mallorca

Es relevante que, entre las procedencias ensayadas, sólo la procedencia Valbuena de Duero está catalogada como rodal selecto en el Catálogo Nacional de Materiales de Base. Si bien esto no implica necesariamente la inadecuación de otros materiales catalogados no incluidos en el ensayo (anterior en el tiempo a dicha catalogación), sí aconsejaría realizar propuestas de admisión de rodales selectos en las poblaciones de



comportamiento consistentemente superior como Villa de Ves (Albacete), Santiago de la Espada (Jaen) y Vélez Blanco (Almería).

Por último, hay que puntualizar que la existencia de procedencias de pino carrasco bien adaptadas a las condiciones de ensayo no impide que haya otras alternativas igualmente válidas para la restauración vegetal en zonas afines, como el pino piñonero (GORDO *et al.* 2007), la sabina albar o incluso especies arbustivas.

6. Conclusiones

Este ensayo muestra una elevada diferenciación entre procedencias para el crecimiento, la supervivencia y la reproducción femenina en una cuesta margosa de la cuenca del Duero. El menor peso de la variabilidad familiar frente a la diferenciación entre procedencias apoya el uso fiable de los materiales de reproducción como mezcla de semillas de distintos individuos. En concreto, destacan cuatro procedencias (Villa de Ves, Velez Blanco, Santiago de la Espada y Sant Salvador de Guardiola) como muy recomendables, tanto para un objetivo productivo como de resiliencia de la reforestación. El comportamiento contrastado de materiales de la misma Región de Procedencia sostiene la importancia de establecer en el futuro ensayos multilocalidad al nivel de rodal selecto para complementar o modificar las recomendaciones de uso basadas en homologaciones ecológicas.

7. Agradecimientos

Este ensayo se llevó a cabo por D. Agundez y E. Notivol. Nuestro agradecimiento a D. Barba y S. Herrera por su labor en la medición y gestión de los datos del ensayo. Esta investigación forma parte del proyecto CC03-048 (convenio DGB-CIFOR) y AT07-002 (INIA).

8. Bibliografía

ALIA, R.; MORO, J.; DENIS, J.B.; 1997. Performance of *Pinus pinaster* provenances in Spain: interpretation of the genotype by environment interaction. *Canadian Journal of Forest Research* 27:1548-1559.

CLIMENT, J.; CHAMBEL, M.R., LÓPEZ, R.; MUTKE, S.; ALÍA, R.; GIL, L.; 2006. Population divergence for heteroblasty in the Canary Islands pine (*Pinus canariensis*, Pinaceae). *American Journal of Botany* 93:840-848.

CLIMENT, J.; PRADA, M.A.; CALAMA, R.; SÁNCHEZ DE RON, D.; CHAMBEL, M.R.; ALÍA, R.; 2008. To grow or to seed: ecotypic variation in reproductive allocation and cone production by young female Aleppo pine (*Pinus halepensis*, Pinaceae). *American Journal of Botany* 94: 1316–1320.

CHAMBEL, M.R.; 2006. Variabilidad adaptativa y plasticidad fenotípica en procedencias de pinos ibéricos. Tesis Doctoral, Dep. Silvopascicultura. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 118 pp.



CHAMBEL, M.R.; ALÍA, R.; 2002. Phenotypic plasticity in mediterranean pines (*Pinus pinaster*, *Pinus halepensis* and *Pinus nigra*). In Medpine2- International meeting on Mediterranean pines, Chania (Greece).

CHAMBEL, M.R.; CLIMENT, J.; ALÍA, R.; 2007. Divergence among species and populations of Mediterranean pines in biomass allocation of seedlings grown under two watering regimes. *Annals of Forest Science* 64:87-97

GORDO, J.; MUTKE, S.; GIL, L.; 2007. Ausencia de diferenciación ecotípica entre rodales selectos de pino piñonero en la cuenca del Duero. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16:253-261.

SCHLICHTING, C.D.; SMITH, H.; 2002. Phenotypic plasticity: linking molecular mechanisms with evolutionary outcomes. *Evolutionary Ecology* 16:189-211.

VOLTAS, J.; CHAMBEL, M.R.; PRADA, M.A.; FERRIO, J.P.; 2008. Climate-related variability in carbon and oxygen stable isotopes among populations of Aleppo pine grown in common-garden tests. *Trees – Structure and Function* DOI : 10.1007/s00468-008-0236-5

