

Efecto de la procedencia en la supervivencia de plántulas de *Pinus canariensis* Sm. en medio árido

J.M. Climent *, L. Gil, E. Pérez, J.A. Pardo

Unidad de Anatomía, Fisiología y Genética Forestal, ETSIM,
Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. España.

jcliment@montes.upm.es

RESUMEN

La supervivencia y el crecimiento en altura se evaluaron en plantas de dos años de pino canario (*Pinus canariensis* Sm.) ocho meses después de la plantación. El sitio de ensayo se localizó en Betancuria (Fuerteventura) bajo condiciones de gran aridez. Las plantas procedían de semilla de nueve poblaciones naturales de la especie (una de Tenerife, una de El Hierro, tres de La Palma y cuatro de Gran Canaria), seleccionadas en función de sus características climáticas. La correlación entre la supervivencia media por población y la precipitación media anual en origen fue $-0,93$. La población no fue estadísticamente significativa en la supervivencia, pero se puso de manifiesto un efecto significativo tras dividir las poblaciones en dos grupos climáticos, seco y húmedo. El porcentaje de supervivencia en el primer grupo (precipitación anual de 300-450 mm) fue del 60 %, mientras que el segundo (500-600 mm) sólo alcanzó un valor del 45 %. No se detectó ninguna relación significativa entre la altura de las plantas y su supervivencia.

Palabras clave: *Pinus canariensis*, procedencias, supervivencia, variación climática.

INTRODUCCIÓN

Los ensayos de procedencias o los estudios de las fuentes de semilla se llevan aplicando en especies forestales a lo largo de dos siglos (Langlet, 1971). Se ha puesto de manifiesto la gran importancia del origen de la semilla en muchas especies del género *Pinus* (Agúndez *et al.*, 1994; Carter, 1996; Li Peng *et al.*, 1997) y en concreto en el entorno mediterráneo (Danjon, 1994; Harfouche *et al.*, 1995; Alía *et al.*, 1995; Fusaro, 1997; Aguiar *et al.*, 1999; Isik *et al.*, 2000). La relevancia de la procedencia se basa en el control genético de caracteres de comportamiento (crecimiento, producción, supervivencia), que a su

* Autor para correspondencia
Recibido: 30-5-01
Aceptado para su publicación: 17-12-01

vez tienen su origen en diversas características fisiológicas sometidas a distintas presiones de selección. Si bien la plasticidad fenotípica individual es muy elevada en algunas especies, como *Pinus halepensis* (Schiller, com. pers.) o *Pinus aristata* (Stettler y Ceulemans, 1993), está constatada en otras muchas la existencia de diferencias evolutivas entre poblaciones. Los mecanismos de mutación, selección y deriva genética han conducido en muchos casos a una adaptación a las condiciones predominantes del medio en el que se asientan (Eriksson, 1998). En las últimas décadas, frente a la incertidumbre del llamado cambio climático, los estudios sobre procedencias de especies forestales han cobrado gran protagonismo (Schmidting, 1994; Matyas, 1994; Carter, 1996).

El pino canario (*Pinus canariensis* Sm.) presenta en su área de distribución natural un amplio rango de condiciones ambientales, tanto climáticas como edáficas (Blanco *et al.*, 1989). Las diferencias climáticas son especialmente destacadas debido a las peculiaridades geográficas y fisiográficas de las islas, las cuales determinan precipitaciones y crioprecipitaciones extremadamente variables entre zonas geográficas (Marzol, 1988). A la gran variación ambiental se une la compartimentación del área de la especie, tanto entre islas como dentro de algunas islas, debido a causas naturales y antrópicas, factores que permiten suponer un alto grado de diferenciación entre poblaciones en caracteres adaptativos.

La definición de las regiones de procedencia de la especie (Climent *et al.*, 1996) supuso un primer paso encaminado a evitar las transferencias incontroladas de semilla y a encuadrar otros estudios posteriores. Frente a la escasez de datos contrastados en el archipiélago, existen evidencias de diferencias de comportamiento entre fuentes de semilla de pino canario fuera de su área natural (Bellefontaine y Raggabi, 1979).

Las adversas condiciones ecológicas de la isla de Fuerteventura no permiten, en su mayor parte, la presencia del pino canario, aunque existen evidencias de su presencia en épocas pasadas (Machado-Yanes, 1996). La existencia en la zona del Castillo de Lara, en Betancuria, de una masa artificial de *Pinus canariensis* alentó a la plantación de una parcela con material vegetal de distintas poblaciones naturales de la especie, como parte de un ensayo de procedencias más amplio en varias localidades del archipiélago. El objetivo del ensayo es confirmar la existencia de diferencias en la adaptabilidad y crecimiento en condiciones extremas para el pino canario. En el presente trabajo se evalúan las diferencias de supervivencia y crecimiento ocho meses después de la plantación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material vegetal

Las poblaciones incluidas en este ensayo se eligieron entre las que formaron parte de un ensayo más amplio (Climent *et al.*, 2001), de forma que estuvieran representadas características climáticas contrastadas (Fig. 1 y Tabla 1). La semilla de cada población fue una mezcla equilibrada procedente de 20 a 30 árboles separados al menos 200 m.

Las plantas se obtuvieron mediante siembra, la cual se llevó a cabo bajo umbráculo en el vivero de Osorio (Gran Canaria) en noviembre de 1998. La semilla se mantuvo 24 horas sumergida en agua con Captan al 1 %, separando por flotación los piñones vanos. Se sembró un piñón por alvéolo en contenedores Super-Leach® M-32 de 205 cc con un

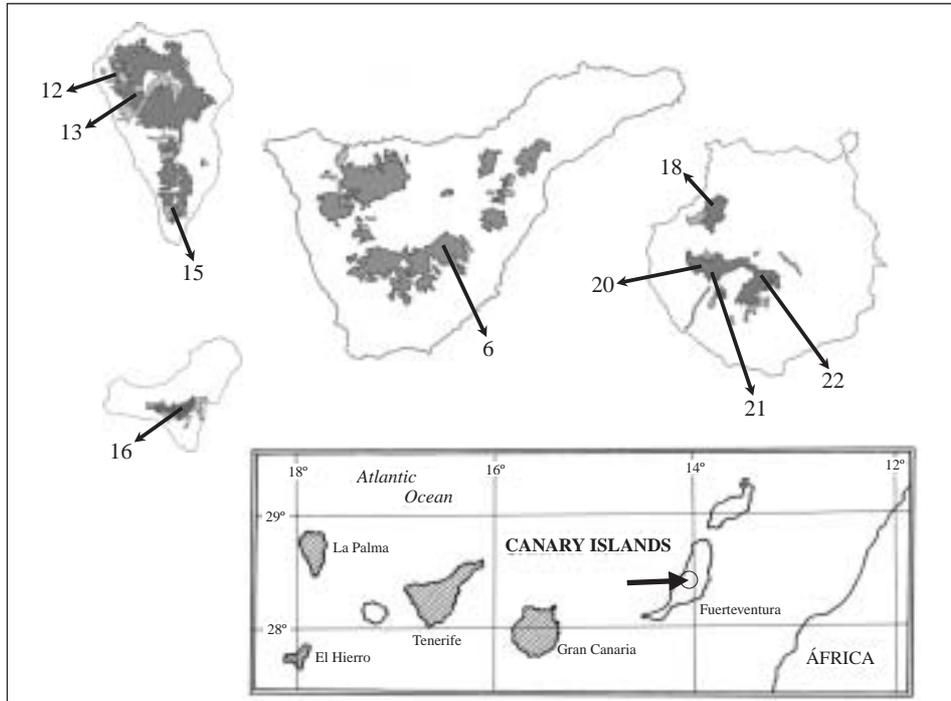


Fig. 1.—Localización del sitio de ensayo (flecha) y de las poblaciones de *Pinus canariensis* ensayadas (números e islas sombreadas)

Tabla 1

Poblaciones incluidas en el ensayo: isla, región de procedencia, altitud media y parámetros climáticos. Grupo seco: poblaciones 6, 16, 20, 21 y 22. Grupo húmedo: poblaciones 12, 13, 15 y 18

| Población | 1. Isla y subregión | 2. Altitud (m) | 3. P. Anual (mm) * | 4. Frec. Nieblas ** | 5. T. ^a media (°C) * |
|------------------|---------------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|
| 6. Arico | Tenerife - S | 1.600 | 380 | 0 | 12 |
| 12. Punta Gorda | La Palma - N | 800 | 500 | 1 | 16 |
| 13. Taburiente | La Palma - S | 1.000 | 600 | 1 | 16 |
| 15. Fuencaliente | La Palma - S | 1.050 | 500 | 1 | 16 |
| 16. S. Salvador | El Hierro | 1.000 | 450 | 1 | 14 |
| 18. Tamadaba | Gran Canaria - N | 1.100 | 550 | 2 | 14 |
| 20. Mogán | Gran Canaria - S | 900 | 300 | 0 | 16 |
| 21. Tejeda | Gran Canaria - S | 950 | 370 | 0 | 16 |
| 22. Tirajana | Gran Canaria - S | 950 | 370 | 0 | 16 |

* Datos del MAPA (Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios-SIGA).

** Frecuencia de nieblas. 0: nula o muy baja; 1: baja o intermedia; 2: alta.

sustrato compuesto por una mezcla de 2/3 de turba rubia sin fertilizar y 1/3 de vermiculita fina, más 4 gr/l de fertilizante Osmocote® 16-8-12 de liberación controlada con 8 a 9 meses de duración. Estos parámetros fueron fruto de ensayos anteriores y de los trabajos de Fernández *et al.* (2000) y Puértolas *et al.* (2000). La germinación se produjo entre una y dos semanas después de la siembra, alcanzando el 95 % de las semillas colocadas. A partir de mayo se sacó la planta al exterior del umbráculo para endurecerla. Dado que las condiciones del vivero eran excesivamente benignas para conseguir la parada vegetativa de las plantas, éstas se trasladaron a un vivero cercano a la zona de ensayo dos meses antes de la plantación. En toda la fase de vivero se mantuvo la aleatorización entre las poblaciones gracias al reparto de cada población en varios bloques de contenedores.

Características del sitio de ensayo

El ensayo se localiza a 525 m de altitud dentro de la zona de repoblación de Castillo de Lara, término municipal de Betancuria, en el centro de Fuerteventura. La zona recibe menos de 200 mm de lluvia al año, con distribución extremadamente irregular tanto dentro del año como entre distintos años. La temperatura media anual es de 18 °C. La zona está sometida a vientos alisios de gran intensidad y constancia, que en esta cota no llegan a producir condensaciones. En correspondencia con la climatología adversa, el suelo es muy poco evolucionado, de textura arcillosa, mineral Xérico según la clasificación CPCs. El sitio del ensayo, con una pendiente del 40 % y orientada al SW, se había aterrazado unos 30 años antes con terrazas de 1,5 m de anchura siguiendo curvas de nivel.

Diseño experimental y plantación

El tipo de diseño experimental elegido fue el de bloques incompletos resolubles (*r*-lattices) y se llevó a cabo con el programa CycDesign®. Cada bloque se componía de 3 poblaciones, cada una representada por una unidad experimental de 4 plantas. Siendo un diseño resoluble, los bloques incompletos se agruparon en 22 repeticiones que incluían todas las poblaciones. Se intentó evitar, dentro de lo posible, la división de bloques entre terrazas y se colocaron plantas de borde en los extremos de cada terraza plantada, aunque su efecto en esta fase del ensayo es nulo.

La preparación del terreno consistió exclusivamente en la apertura de hoyos de 40 × 40 cm. El terreno se encontraba con un buen nivel de humedad gracias a las lluvias caídas en los meses anteriores. La plantación se llevó a cabo con plantamón tras tapar de nuevo los hoyos entre los días 17 y 19 de enero de 2000. Inmediatamente tras la plantación se colocaron protectores de malla plástica para evitar los daños de roedores y atenuar el efecto del viento. Dada la ausencia total de lluvias, entre febrero y julio de 2000 se aplicaron tres riegos de 25 l por planta, asegurando un reparto uniforme.

Medición y análisis de los datos

Se midieron las alturas tras asentarse el terreno, en el mes de marzo de 2000, considerándose ésta la altura a la salida del vivero (h1999). La segunda medición (h2000) y eva-

luación de supervivencia se llevó a cabo en noviembre de 2000. La supervivencia (Sup) se analizó como proporción de plantas vivas por unidad experimental, aplicando la transformación arcoseno de la raíz cuadrada para los análisis de varianza. Dado el corto plazo de las observaciones, el tratamiento de los datos como bloques incompletos no aportó mayor precisión que la obtenida mediante las repeticiones como bloques completos aleatorios, por lo que el análisis se llevó a cabo considerando sólo las repeticiones. Se estudiaron las correlaciones entre las alturas (h1999, h2000) y la supervivencia (Sup) utilizando los valores medios por unidad experimental y entre estas variables y las características ecológicas del lugar de origen, utilizando los valores medios por población. Posteriormente, se aplicó el método de regresión múltiple paso a paso para obtener un modelo de predicción de la supervivencia por población. En este caso se emplearon los valores medios ajustados por mínimos cuadrados para evitar el desequilibrio debido al distinto número de unidades experimentales de cada población debido a las marras.

Se aplicaron dos modelos de descomposición de la varianza, el primero con los factores Población y Repetición, correspondiendo el error a la interacción Población Repetición. El segundo modelo se aplicó tras agrupar las poblaciones en dos grupos en función de sus características climáticas: secas, con menos de 500 mm de lluvia anual (poblaciones 6, 16, 20 21 y 22), y húmedas, en caso contrario (poblaciones 12, 13, 15 y 18). Se evaluaron los dos factores Clima, Repetición y Clima Repetición, calculando los valores del estadístico F con el término de la interacción como denominador. En ambos casos se empleó la suma de cuadrados tipo III, debido al desequilibrio de los datos.

RESULTADOS

La supervivencia media del ensayo tras el primer verano fue del 53 %. La altura media antes del verano (h1999) fue de 20 7 cm (media 1,96 veces la desviación estándar), mientras que al final del período (h2000), las plantas supervivientes midieron 21,5 13 cm. Las correlaciones entre las alturas medidas y la supervivencia de cada unidad experimental no fueron significativas en ningún caso. Tampoco se apreciaron correlaciones significativas entre los parámetros ecológicos de origen de las poblaciones (precipitación, altitud o frecuencia de nieblas) y la altura de las plantas en ninguna de las dos mediciones (Tabla 2). La única correlación significativa ($p < 0,001$) al nivel población se registró entre la supervivencia (Tabla 2) y la precipitación media anual de origen (Tabla 1), con un coeficiente de $-0,93$. Consecuentemente, ninguna otra variable mejoró significativamente la predicción del porcentaje de supervivencia respecto a la precipitación media anual. El modelo lineal resultante, con un r^2 del 86 %, se representa en la Figura 2.

Los análisis de varianza basados en el primer modelo muestran que el factor población no llega a ser significativo, mientras que sí lo es la repetición (bloque completo) (Tabla 3). Sin embargo, la agrupación de las poblaciones en dos grupos climáticos puso de manifiesto comportamientos significativamente diferentes entre ambos grupos, en consonancia con la tendencia reflejada en la Figura 2. El grupo seco (menos de 500 mm, con 374 mm de media) mostró una supervivencia media del 60 %, significativamente superior ($p < 0,05$) a la del grupo húmedo (más de 500 mm, con 540 mm de media), que tuvo un 45 % de supervivencia media. Según este modelo de descomposición de la varianza, el efecto de la repetición no fue significativo, pero sí la interacción Clima Repetición.

Tabla 2

Alturas y supervivencia medias por población (ajustadas por mínimos cuadrados)

| Población | 1. Alt. 1999 (cm) | 2. Alt. 2000 (cm) | 3. Supervivencia a los 8 meses |
|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|
| 6. Arico | 19,60 | 24,58 | 0,64 |
| 12. Punta Gorda | 20,01 | 23,55 | 0,42 |
| 13. Taburiente | 20,80 | 25,43 | 0,43 |
| 15. Fuencaliente | 20,58 | 23,46 | 0,39 |
| 16. S. Salvador | 19,65 | 22,48 | 0,62 |
| 18. Tamadaba | 19,43 | 23,05 | 0,37 |
| 20. Mogán | 21,12 | 24,54 | 0,71 |
| 21. Tejeda | 19,71 | 20,53 | 0,63 |
| 22. Tirajana | 20,10 | 23,59 | 0,61 |

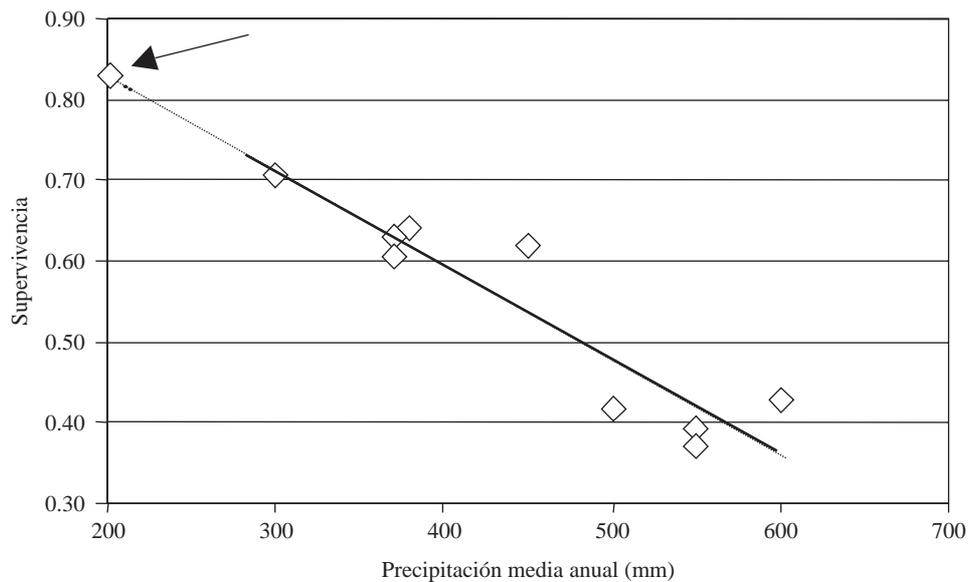


Fig. 2.—Regresión lineal entre precipitación media anual de la zona de origen de cada población y su supervivencia media en el ensayo: $Sup = 1,06023 - 0,00116225 * PA$ ($r^2 = 86\%$). La extrapolación de la recta de regresión hasta el punto $PA = 200$ mm, ($Sup = 0,83$, flecha) correspondería a una hipotética «procedencia local»

Tabla 3

Tablas de Anova correspondientes a los dos modelos de descomposición de la varianza empleados para la variable Arc sen v Sup. Sumas de cuadrados tipo III

| Modelo I | | | | | |
|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|----------|--------------|
| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrados medios | Valor F | Probabilidad |
| Población | 9.981,82 | 8 | 1.247,73 | 1,85 | 0,0706 |
| Repetición | 29.296,6 | 21 | 1.395,08 | 2,07 | 0,0059 |
| Error | 113.118,0 | 168 | 673,32 | | |
| Total | 152.397,0 | 197 | | | |
| Modelo II | | | | | |
| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrados medios | Valor F | Probabilidad |
| Clima | 6.645,68 | 1 | 6.645,68 | 6,54 (1) | 0,0183 |
| Repetición | 29.851,6 | 21 | 1.421,5 | 1,40 (1) | 0,2237 |
| C × R | 21.324,3 | 21 | 1.015,44 | 1,64 (0) | 0,0461 |
| Error | 95.130,0 | 154 | 617,7 | | |
| Total | 152.397,0 | 197 | | | |

Valores de F calculados respecto a los siguientes cuadrados medios: (0) Error (1) C R.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio indican una estrecha relación entre la precipitación media anual de la zona de origen de las semillas y la supervivencia a corto plazo de plantas de *Pinus canariensis* en condiciones de elevado estrés hídrico. Este resultado es coherente con los obtenidos, en plazos mucho mayores, por Alía *et al.* (1995) en *P. pinaster* en cinco localidades del centro-oeste peninsular y por Ying y Liang (1994) en *Pinus contorta* en su área costera. En una especie de ecología comparable, como *P. brutia*, Isik *et al.* (2000) encontraron diferencias significativas entre procedencias en la supervivencia a los 10 años sólo en localidades de condiciones extremas. Otros estudios han mostrado influencias destacadas de factores como las temperaturas medias, la altitud o la latitud de origen de las poblaciones evaluadas en diferentes especies de pinos (Schmidtling, 1994; Xie Chang-Yi y Ying, 1995). La razón de estas divergencias puede encontrarse tanto en el distinto temperamento de las especies consideradas como en las condiciones de los sitios de ensayo.

Siguiendo un planteamiento similar al de Schmidtling (1994), la extrapolación de la recta de regresión de la Figura 1 hasta una precipitación de 200 mm permitiría estimar el comportamiento de una hipotética «procedencia local». El valor de supervivencia obtenido, 83 %, puede considerarse un resultado coherente para las condiciones de ensayo, plantación cuidadosa con riego posterior.

La ausencia de correlación entre la altura media en el momento de la plantación (h_{1999}) y la supervivencia en este ensayo tiene relevancia por dos razones. En primer lugar, permite descartar los efectos maternos (tamaño de la semilla, velocidad de germinación, etc.) y de diferencias de cultivo en vivero en la supervivencia, dado que estos efectos se manifestarían en diferencias de altura de las plantas a la salida del vivero. En segundo lugar, permite rechazar la supuesta desventaja de plantas de mayor altura en las repoblaciones con pino canario en condiciones xéricas. Otros estudios en pinos mediterráneos (Oliet *et al.*, 1997; Villar-Salvador *et al.*, 2000) confirman que las plantas de mayor tamaño pueden presentar una elevada supervivencia. La mayor reserva de nutrientes y carbohidratos en plantas bien nutridas puede, por ejemplo, favorecer un mayor potencial de regeneración radical que compense las mayores pérdidas de agua por transpiración en comparación con plantas de menor tamaño.

Las alteraciones rápidas en el régimen de precipitaciones y temperaturas a nivel mundial aconsejan la búsqueda de procedencias o poblaciones de árboles forestales capaces de adaptarse a condiciones cada vez más adversas (Carter, 1996; Persson, 1998). La adaptación de *P. canariensis* a la sequía está constatada a nivel anatómico y fisiológico (Jiménez *et al.*, 2000; Peters *et al.*, 1999), pero aún se desconoce si existen diferencias evolutivas con un patrón geográfico o ecológico. Los resultados mostrados en el presente estudio sostienen la adaptación a la escasez de agua en determinadas procedencias de *Pinus canariensis*, lo que justifica la importancia de la fuente de semilla de cara al uso forestal de esta especie.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo desarrollado en el marco de los convenios «Estudio de la variabilidad genética de *Pinus canariensis*» (Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias - U.P.M.) y «Evaluación y Mejora de los Factores que afectan a la Reforestación con Pino Canario en Tenerife» (Cabildo de Tenerife - U.P.M.) y un convenio-marco con el Cabildo de Gran Canaria. Gracias al personal de Medio Ambiente de Gran Canaria y Fuerteventura que ha participado en las distintas fases del trabajo y a Ricardo Alía y Maria Regina Chambel por su ayuda y consejo.

SUMMARY

Effect of provenance on the survival of *Pinus canariensis* Sm. seedlings in arid conditions

Survival and height growth of two-year seedlings of Canary Islands pine (*Pinus canariensis* Sm.) were evaluated in a field trial, eight months after plantation. The trial was located at Betancuria (Fuerteventura island, Canary archipelago), under extremely arid conditions. Plants were raised from seeds collected at nine natural stands of the species, selected by their climatic traits. Correlation between mean survival rate and mean annual rainfall at the population level was -0.93 . Population was not significant on survival, but a significant effect was found after grouping populations into two climatic groups, xeric and mesic. The survival rate of the xeric group (annual rainfall ranging from 300 to 450 mm) was 60 %, higher than that of the mesic group (500-600 mm), which attained 45 %. No significant relationship was observed between plant height and survival.

Key words: *Pinus canariensis*, provenances, survival, geographic variation, climatic variation.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR A., ROLDAO M.I., ESTEVES I., BAETA J., 1999. Ensaio de proveniencias de *Pinus pinaster* Ait. Resultados de quatro anos de ensaio. *Silva Lusitana* 7 (1), 39-47.
- AGÚNDEZ D., ALÍA R., STEPHAN R., GIL L., PARDOS J.A., 1994. Ensaio de procedencias españolas y alemanas de *Pinus sylvestris* L.: comportamiento en vivero y supervivencia en monte. *Ecología (Madrid)* 8, 245-257.
- ALÍA R., GIL L., PARDOS J.A., 1995. Performance of 43 *Pinus pinaster* Ait. provenances on 5 locations in central Spain. *Silvae Genetica* 44, 75-81.
- BELLEFONTAINE R., RAGGABI M., 1979. Provenances et origines de *Pinus canariensis*. Résultats des essais à court terme installés au Maroc depuis 1972. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc* 19, 309-326.
- BLANCO A., CASTROVIEJO M., FRAILE J.L., GANDULLO J.M., MUÑOZ L.A., SÁNCHEZ PALOMARES O., 1989. Estudio ecológico del Pino canario. ICONA. Serie Técnica, n.º 6. Madrid. 199 pp.
- CARTER K.K., 1996. Provenance tests as indicators of growth response to climate change in 10 north temperate tree species. *Can. Jour. For. Res.* 26 (6), 1089-1095.
- CLIMENT J., GIL L., TUERO M., 1996. Regiones de procedencia de *Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC. DGCONA (MAPA). 49 pp.
- CLIMENT J.M., PÉREZ E., GIL L., PARDOS J.A., 2001. Ensaio de procedencias de *Pinus canariensis* Sm.: diseño, instalación y primeros resultados. Resumen enviado al III Congreso Forestal Español, Granada. 25-28 de septiembre 2001.
- DANJON F., 1994. Stand features and height growth in a 36-year-old maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) provenance test. *Silvae Genetica* 43 (1), 52-62.
- ERIKSSON G., 1998. Evolutionary forces influencing variation among populations of *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica* 32 (2), 173-184.
- FERNÁNDEZ M., PUÉRTOLAS J., ALONSO J., RODRÍGUEZ GIL L., PARDOS J.A., 2000. Efecto de la fertilización durante el período de endurecimiento sobre plantas de *Pinus pinea* L. producidas en contenedor. Actas del Primer simposio del Pino piñonero (*Pinus pinea* L.), Valladolid, 22 -24 febrero de 2000, 183-190.
- FUSARO E., 1997. Risultati preliminari sulla sperimentazione in Italia di alcune provenienze mediterranee di *Pinus pinaster* Ait. *Monti e Boschi* 48 (3), 48-53.
- HARFOUCHE A., BARADAT P., DUREL C.E., 1995. Variabilité intraspecificque chez le pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) dans le sud-est de la France. I. Variabilité des populations autochtones et des populations de l'ensemble de l'aire de l'espece. *Annales des Sciences Forestieres* 52 (4), 307- 328.
- ISIK F., KESKIN S., McKEAND S.E., 2000. Provenance variation and provenance-site interaction in *Pinus brutia* Ten.: Consequences of defining breeding zones. *Silvae Genetica* 49 (4-5), 213-223.
- JIMÉNEZ S., ZELNIG G., STABENTHEINER E., PETERS J., MORALES D., GRILL D., 2000 Structure and ultrastructure of *Pinus canariensis* needles. *Flora* 195, 228-235.
- LANGLET O., 1971. Two hundred years of genealogy. *Taxon* 20, 653-722.
- LI PENG BEAULIEU J., DAOUST G., PLOURDE A., 1997. Patterns of adaptive genetic variation in eastern white pine (*Pinus strobus*) from Quebec. *Can. Jour. For. Res.* 27(2), 199-206.
- MACHADO YANES M.C., 1996. Reconstrucción paleoecológica y etnoarqueológica por medio del análisis antracológico. La cueva de Villaverde (Fuerteventura). En Biogeografía Pleistocena-Holocena de la Península Ibérica, P. Ramil-Rego, C. Fernández Rodríguez & M. Rodríguez Guitián, Coord. pp. 261-274.
- MARZOL M.V., 1988. La lluvia, un recurso natural para Canarias. S.º publ. Caja Gral. Ahorros de Canarias, Sta. Cruz de Tenerife, 220 pp.
- MATYAS C., 1994. Modeling climate change effects with provenance test data. *Tree Physiology* 14 (7-9), 797-804.
- OLIET J., PLANELLES R., LÓPEZ M., ARTERO F., 1997. Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. Cuadernos de la S.E.C.F. 4, 69-79.
- PERSSON B., 1998. Will climate change affect the optimal choice of *Pinus sylvestris* provenances? *Silva Fennica* 32 (2), 121-128.
- PETERS J., JIMÉNEZ S., MORALES D., 1999. Effect of extreme temperature on quantum yield of fluorescence and membrane leakage of the canarian endemic pine (*Pinus canariensis*). *Z. Naturforsch* 54, 681-687.
- PUÉRTOLAS J., FERNÁNDEZ M., PARDOS J.A. (2000). Effects of improved nursery fertilization in the use of aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) for the afforestation of abandoned agricultural land. International Conference on Forest: Ecosystem & Restoration. Vienna, 2000.
- SCHMIDTLING R.C., 1994. Use of provenance tests to predict response to climatic change: loblolly pine and Norway spruce. *Tree Physiology* 14 (7-9), 805-818.

- STETTLER R.F., CEULEMANS R.J., 1993. Clonal material as a focus for genetic and physiological research in forest trees. En *Clonal Forestry I: Genetics and Biotechnology*. M.R. Ahuja y W.B. Libby Eds. Springer-Verlag, Berlín, pp. 68-86.
- VILLAR SALVADOR P., PEÑUELAS J.L., CARRASCO I., 2000. Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de planta en *P. pinea*. Actas del Primer simposio del Pino piñonero (*Pinus pinea* L.), Valladolid, 22 -24 febrero de 2000, 211-218.
- XIE CHANG YI YING C.C., 1995. Genetic architecture and adaptive landscape of interior lodgepole pine (*Pinus contorta* ssp. *latifolia*) in Canada. *Can. Jour. For. Res.* 25 (12), 2010-2021.
- YING C.C., LIANG Q.W., 1994. Geographic pattern of adaptive variation of lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) within the species' coastal range: field performance at age 20 years. *Forest Ecology and Management* 67 (1-3), 281-298.