

INTERACCION PROCEDENCIA-EDAD EN 52 PROCEDENCIAS DE *PINUS PINASTER* AIT. EN ESPAÑA

R. ALIA

Departamento de Sistemas Forestales. CIT-INIA.
Apdo. 8.111. 28080 Madrid, España

L. GIL

J. A. PARDOS

Departamento de Silvopascicultura de E.T.S.I.M.
Ciudad Universitaria. 28040 Madrid, España

G. CATALAN

Servicio de Material Genético. ICONA.
Gran Vía de San Francisco, 35. 28005 Madrid, España

RESUMEN

Se estudia el crecimiento en altura de 52 procedencias del área natural de *Pinus pinaster* Ait. (42 españolas, 2 portuguesas, 5 francesas, 2 marroquíes y 1 italiana) situadas en una parcela del centro-oeste de España.

La comparación del crecimiento en altura a 1, 5, 14 y 18 años, indican que la selección de las mejores procedencias a la edad de 18 años puede adelantarse a los 5 años, siempre que no se reduzca en demasía el número de procedencias.

Se estudia el crecimiento en altura como una interacción procedencia-medio. Para cada edad la calidad de la estación se define como la altura media de la parcela. Se aprecia una agrupación de las procedencias consistente con su distribución geográfica basándonos en dos parámetros: la altura media de la procedencia a los 5 años y el valor del coeficiente de regresión lineal de la media de cada procedencia sobre la calidad de la estación para cada edad.

Referido a las procedencias ibéricas, se pueden diferenciar los siguientes grupos:

- Grupo 1: Procedencias atlánticas.
- Grupo 2: Pequeño grupo heterogéneo formado por una procedencia atlántica y otra del Sistema Ibérico.
- Grupo 3: Procedencias del Sistema Central, Sierras de Cazorla y Segura, y Sistema Ibérico.
- Grupo 4: Procedencias de Castilla.
- Grupo 5: Grupo pequeño heterogéneo formado por tres procedencias de Castilla y una del Sistema Ibérico.
- Grupo 6: Procedencias del Teleno y Bureba.

PALABRAS CLAVE: *Pinus pinaster*
Procedencias
Selección
Crecimiento en altura

INTRODUCCION

El estudio de *Pinus pinaster* Ait. en la península Ibérica nos muestra a esta especie con numerosas procedencias muy variables entre sí en cuanto a la producción (Alia, 1989). El extenso uso que de ella se hace aconseja una rápida y correcta elección de las procedencias, lo que depende de la posibilidad de predecir las respuestas de los árboles de acuerdo con mediciones realizadas en edades tempranas. El estudio de la interacción genotipo-edad nos permite marcar el momento de la selección en que determinados genotipos pasarán a la siguiente fase de mejora.

La selección a edades tempranas es un método de acortar los ciclos de mejora que presenta diversas ventajas. Nos permite (Lambeth, 1980) efectuar ensayos más pequeños y a menor espaciamiento, facilita la toma de medidas y la mayor rapidez de respuesta del mejorador a los cambios en la demanda de productos.

La edad a la que puede efectuarse una selección eficaz depende de numerosos factores como son la especie, tipo de material ensayado, carácter en que se basa la selección, turno de aprovechamiento, etc. Nanson (1976), basándose en datos de 13 ensayos de procedencias de *Pinus sylvestris*, *Picea abies* y *Pseudotsuga menziessi*, señala que el crecimiento en altura a los 5-10 años en el monte es un buen predictor de la producción total de madera al final del período investigado (25-60 años). Estos valores coinciden con los señalados por otros autores (Squillace, Gansel, 1974; Lambeth *et al.*, 1983; Lambeth, 1980). En *Pinus taeda* se puede efectuar una selección familiar a los 3 años sin grandes pérdidas de ganancia para el volumen total a los 25 años (Foster, 1986). Pueden encontrarse efectos maternos en el crecimiento del *Pinus sylvestris* hasta edades cercanas a los 16 años, que enmascaran la posibilidad de selección eficaz cuando el turno es más elevado de los señalados con anterioridad (Giertych, 1974). El aumento brusco de los valores de las correlaciones genéticas para la altura a edad de 15 años con la edad 25 indica a Franklin (1979) la necesidad de evitar la selección al menos hasta la mitad de la fase de madurez.

Durante los primeros años el *Pinus pinaster* presenta un crecimiento en altura aproximadamente lineal (Zazo, 1990) que se mantiene por encima de los 20 años. Kremer (1981) indica que el crecimiento juvenil de *Pinus pinaster* está caracterizado por una variabilidad del término del error importante, que no permite seleccionar eficazmente a estas edades. Esta variación (en valor relativo) decrece con la edad, permaneciendo constante a partir de los 8 años. Maugé *et al.* (1973) y Arbez *et al.* (1975) señalan que a partir de los 5 años el crecimiento en altura pasa a tener un control genético más alto, lo que permite la selección para este carácter, tomando como indicador la altura del 5º al 7º verticilo (Baradat, 1976). Kremer (1981) acepta esta edad como un buen compromiso dentro de un programa de mejora.

En el presente trabajo se estudia el comportamiento de la altura a diferentes edades en un ensayo de procedencias de *Pinus pinaster*, la estrategia de selección y el comportamiento relativo de las procedencias al variar la edad de la plantación.

MATERIAL Y METODOS

La parcela analizada se encuentra situada en el centro oeste de España (Acebo-Cáceres). En ella están presentes 52 procedencias del área natural de la especie (Fig. 1), cuyas características se recogen en la Tabla 1. El ensayo tiene un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones y 16 individuos por bloque.

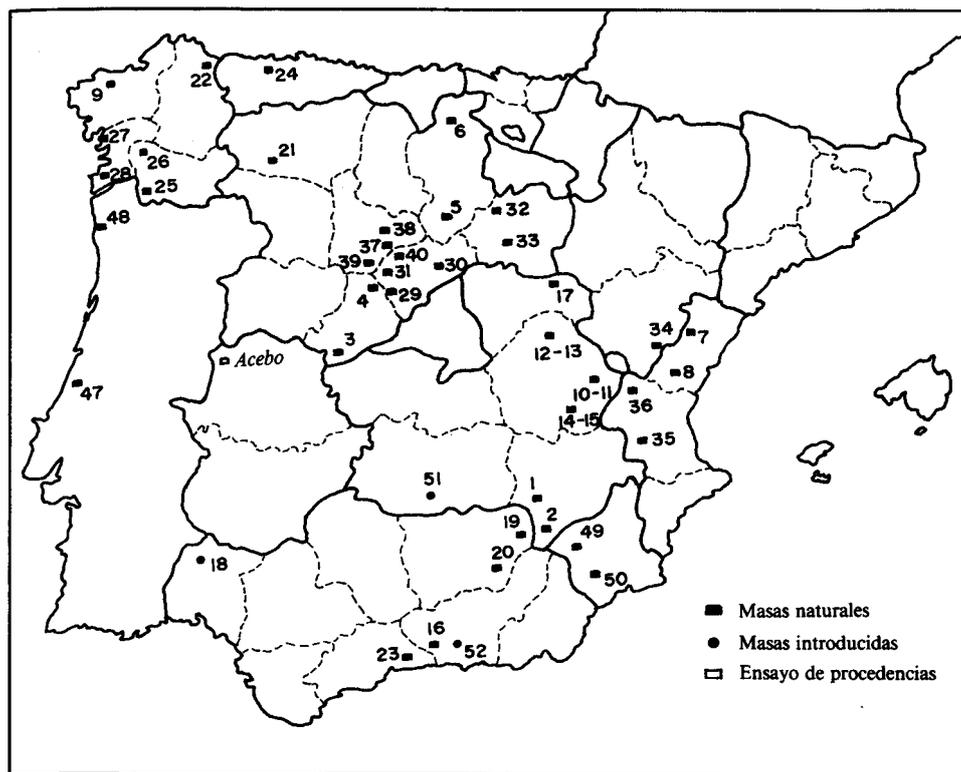


Fig. 1.—Situación de las procedencias y de la parcela de ensayo de Acebo (Cáceres).

Situation of Provenances and Acebo (Cáceres) Provenance Test.

Se dispone de los valores resultantes de la medición de la altura total en cuatro momentos: fase de vivero H0 (1 año); H1 (5 años); H2 (13 años) y H3 (18 años). Se ha realizado un análisis de varianza de la altura total para cada edad considerando los factores procedencia y bloque. Posteriormente se ha efectuado un test de medias para el factor procedencia.

Para las edades H0, H1, H2 y H3, se han calculado los coeficientes de correlación entre las alturas de cada árbol, en tres niveles: para cada uno de los árboles presentes en los ensayos, para la altura media de cada unidad experimental y para la altura media de las procedencias.

La evolución de la altura con la edad, puede ser estudiada como una interacción genotipo-medio (Kremer, 1986), lo que nos permite observar como evoluciona una procedencia determinada en comparación con las restantes. Para ello calculamos, para cada procedencia, la regresión de las alturas medias de cada bloque sobre la altura media de la parcela para cada una de las edades. Es decir, utilizamos la altura media de la parcela de cada edad como indicadora de la calidad de la estación (Freeman, 1973). Se ha puesto la restricción del paso por el origen para que el efecto del crecimiento se mida por el valor del coeficiente de regresión (b). Se ha construido un diagrama en el que cada procedencia está representada por un punto: valor del coeficiente de regresión y su altura media a los 5 años, tal como propusieron Finlay y Wilkinson (1963).

TABLA I
PROCEDENCIAS PRESENTES EN EL ENSAYO Y ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE CLIMA
Climatic characteristics of provenances

| Procedencia | Provincia | H (m) | P (mm) | T (°C) | IBF (ubc) | IBS (ubc) | IBL (ubc) | IBSS (ubc) | Tb1 (°C) | Tb2 (°C) | PPRI (mm) | PVER (mm) |
|------------------|-------------|-------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|-----------|-----------|
| 1. Paterna | Albacete | 1.180 | 785 | 12,3 | -1,78 | -0,61 | 2,38 | 10,22 | 12,7 | 4,4 | 175 | 73 |
| 2. Yeste | Albacete | 1.100 | 711 | 12,9 | -1,32 | -0,78 | 2,59 | 10,88 | 12,6 | 5,1 | 188 | 57 |
| 3. Arenas | Avila | 750 | 1.187 | 12,2 | -2,00 | -0,85 | 4,0 | 8,17 | 14,3 | 4,4 | 275 | 92 |
| 4. Arevalo | Avila | 830 | 409 | 11,3 | -2,72 | -0,53 | 1,25 | 10,00 | 12,7 | 3,7 | 116 | 66 |
| 5. Villanueva | Burgos | 870 | 495 | 10,9 | -2,76 | -0,33 | 2,15 | 8,37 | 13,3 | 3,6 | 137 | 84 |
| 6. Oña | Burgos | 700 | 685 | 10,8 | -2,18 | -0,18 | 3,61 | 6,41 | 14,3 | 4,2 | 171 | 108 |
| 7. Vistabella | Castellón | 1.400 | 625 | 12,8 | -0,94 | 0,00 | 7,06 | 6,60 | 16,2 | 5,9 | 175 | 150 |
| 8. Chovar | Castellón | 600 | 530 | 15,4 | 0,00 | -0,25 | 7,68 | 10,92 | 15,6 | 7,5 | 220 | 131 |
| 9. Carballo | La Coruña | 150 | 1117 | 13,7 | 0,00 | 0,00 | 9,37 | 5,43 | 14,1 | 7,5 | 135 | 107 |
| 10. Boniches | Cuenca | 1.120 | 663 | 10,8 | -2,70 | -0,25 | 3,40 | 7,22 | 15,3 | 3,5 | 176 | 105 |
| 11. Boniches (*) | Cuenca | 1.120 | 663 | 10,8 | -2,70 | -0,25 | 3,40 | 7,22 | 15,3 | 3,5 | 176 | 105 |
| 12. Poyatos | Cuenca | 1.400 | 654 | 11,8 | -2,46 | -0,45 | 3,96 | 8,06 | 14,9 | 3,9 | 198 | 100 |
| 13. Poyatos (*) | Cuenca | 1.400 | 654 | 11,8 | -2,46 | -0,45 | 3,96 | 8,06 | 14,9 | 3,9 | 198 | 100 |
| 14. Almodovar | Cuenca | 900 | 651 | 12,2 | -2,18 | -0,62 | 2,99 | 9,56 | 14,3 | 3,9 | 169 | 77 |
| 15. Almodovar(*) | Cuenca | 900 | 651 | 12,2 | -2,18 | -0,62 | 2,99 | 9,56 | 14,3 | 3,9 | 169 | 77 |
| 16. Albuñuelas | Granada | 1.280 | 600 | 14,4 | -0,60 | -1,64 | 2,03 | 12,14 | 12,1 | 6,0 | 113 | 46 |
| 17. Solanillos | Guadalajara | 1.215 | 585 | 11,4 | -3,04 | -0,18 | 3,78 | 8,35 | 15,8 | 3,3 | 176 | 99 |
| 18. Almonáster | Huelva | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 19. Orceira | Jaén | 1.070 | 832 | 13,7 | -0,96 | -0,82 | 4,22 | 10,62 | 13,5 | 5,9 | 206 | 68,5 |
| 20. Cazorla | Jaén | 820 | 985 | 14,0 | -0,82 | -0,82 | 4,67 | 10,83 | 13,8 | 6,1 | 200 | 70,5 |
| 21. Tabuyo | León | 900 | 752 | 9,7 | -3,12 | -0,25 | 2,52 | 5,53 | 14,0 | 3,6 | 192 | 99 |
| 22. Ribadeo | Lugo | 180 | 1.054 | 13,1 | 0,00 | 0,00 | 10,30 | 3,20 | 14,9 | 7,5 | 210 | 174 |
| 23. Cómputa | Málaga | 900 | 544 | 15,7 | 0,00 | -1,58 | 4,26 | 13,13 | 12,7 | 7,5 | 116 | 40 |
| 24. Pravia | Oviedo | 186 | 1.218 | 13,2 | 0,00 | 0,00 | 12,36 | 1,20 | 15,4 | 7,5 | 270 | 243 |
| 25. Entrimo | Orense | 600 | 1.811 | 10,5 | -2,00 | 0,00 | 5,42 | 3,82 | 13,7 | 4,2 | 350 | 161 |
| 26. Carballino | Orense | 470 | 1.366 | 12,8 | -0,02 | 0,00 | 7,83 | 4,95 | 14,8 | 7,4 | 235 | 129 |
| 27. Cambados | Pontevedra | 60 | 1.303 | 14,8 | 0,00 | -0,05 | 11,10 | 6,39 | 15,0 | 7,5 | 252 | 153 |
| 28. Punteareas | Pontevedra | 100 | 1.435 | 14,5 | 0,00 | -0,09 | 10,13 | 6,74 | 14,7 | 7,5 | 280 | 145 |
| 29. Moraleja | Segovia | 800 | 474 | 11,4 | -2,60 | -0,39 | 2,12 | 9,32 | 13,0 | 3,6 | 137 | 71 |
| 30. Turégano | Segovia | 925 | 581 | 9,9 | -3,72 | -0,28 | 2,09 | 7,18 | 13,0 | 2,9 | 174 | 79 |

PINUS PINASTER AIT EN ESPAÑA

Tabla I (continuación)

| Procedencia | Provincia | H (m) | P (mm) | T (°C) | IBF (ubc) | IBS (ubc) | IBL (ubc) | IBSS (ubc) | Tbl (°C) | Tbf (°C) | PPRI (mm) | PVER (mm) |
|----------------------|-------------|-------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|-----------|-----------|
| 31. Coca | Segovia | 810 | 474 | 11,4 | -2,60 | -0,39 | 2,12 | 9,32 | 13,0 | 3,6 | 137 | 71 |
| 32. S. Leonardo | Soria | 1.200 | 641 | 8,7 | -4,86 | -0,20 | 1,78 | 5,79 | 12,4 | 2,0 | 193 | 80 |
| 33. Bayubas | Soria | 910 | 552 | 10,8 | -2,90 | -0,03 | 2,50 | 8,31 | 13,6 | 3,5 | 174 | 86 |
| 34. Rubielos | Teruel | 800 | 495 | 12,7 | -1,08 | 0,00 | 5,19 | 8,35 | 16,8 | 5,5 | 155 | 128 |
| 35. Cortes de Payás | Valencia | 800 | 493 | 15,5 | 0,00 | -0,56 | 4,86 | 13,29 | 15,2 | 7,5 | 130 | 76 |
| 36. Chelva | Valencia | 790 | 494 | 13,9 | -0,82 | -0,23 | 5,02 | 10,80 | 15,9 | 6,0 | 137 | 109 |
| 37. Iscar | Valladolid | 750 | 498 | 11,5 | -2,34 | -0,54 | 1,89 | 9,35 | 12,6 | 4,1 | 133 | 75 |
| 38. Traspinedo | Valladolid | 730 | 513 | 11,5 | -2,36 | -0,54 | 1,89 | 9,35 | 12,6 | 4,1 | 133 | 75 |
| 39. Ataquines | Valladolid | 800 | 448 | 11,5 | -2,40 | -0,54 | 1,59 | 9,65 | 12,7 | 4,1 | 128 | 70 |
| 40. Villaverde | Valladolid | 750 | 471 | 11,5 | -2,40 | -0,54 | 1,79 | 9,40 | 12,8 | 4,0 | 142 | 70 |
| 41. Pisa | ITALIA | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 42. Macz. Central | FRANCIA | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 43. Córcega I | FRANCIA | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 44. Córcega II | FRANCIA | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 45. Tamjout | MARRUECOS | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 46. Ibel-Tassali | MARRUECOS | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 47. Leiria | PORTUGAL | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 48. Viana do Castelo | PORTUGAL | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 49. Caravaca | Murcia | 1.100 | 510 | 13,6 | -0,96 | -0,74 | 3,00 | 11,80 | 12,7 | 5,6 | 142 | 60 |
| 50. Sierra Espuña | Murcia | 1.480 | 435 | 14,3 | -0,50 | -1,32 | 2,52 | 12,60 | 11,6 | 6,2 | 136 | 39 |
| 51. La Garganta | Ciudad Real | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 52. Lanjarón | Granada | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

H: Altura (m).

P: Precipitación anual (mm).

T: Temperatura media anual (°C).

IBF: Intensidad bioclimática fría (ubc).

IBS: Intensidad bioclimática seca (ubc).

IBL: Intensidad bioclimática libre (ubc).

IBSS: Intensidad bioclimática subseca (ubc).

Tbl: Temperatura básica libre (°C).

Tbf: Temperatura básica fría (°C).

PPRI: Precipitación de primavera (mm).

PVER: Precipitación de verano (mm).

RESULTADOS

El factor procedencia es altamente significativo para las tres edades analizadas, tal como muestra la Tabla 2.

TABLA 2
ANALISIS DE VARIANZA DE LA ALTURA A DISTINTAS EDADES
ANOVA of height at different ages (H1, H2 and H3)

| | Fuente Variación | G.L. | S.C. | C. Medios | F |
|----|------------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| H1 | Procedencia | 51 | 59,8286 | 1,1672 | 14,16 *** |
| | Bloque | 3 | 9,4287 | 3,1429 | 13,58 *** |
| | Proc.* Bloque | 153 | 35,4131 | 0,2314 | 2,81 *** |
| | Error | 2.397 | 197,5735 | 0,0824 | |
| H2 | Procedencia | 51 | 1264,8595 | 24,8012 | 23,77 *** |
| | Bloque | 3 | 45,6035 | 15,2012 | 1,82 |
| | Proc.* Bloque | 107 | 894,4175 | 8,3590 | 8,01 *** |
| | Error | 1.759 | 1835,5949 | 1.0435 | |
| H3 | Procedencia | 51 | 1905,4977 | 37,3627 | 21,99 *** |
| | Bloque | 3 | 128,2113 | 42,7371 | 3,75 *** |
| | Proc.* Bloque | 107 | 1220,1103 | 11,4029 | 6,71 *** |
| | Error | 1 759 | 2989,0687 | 1,6993 | |

Utilizando el valor de la media como predictor del valor genético de la procedencia seleccionamos las mejores procedencias basándonos en la altura media alcanzada a cada edad. En la Tabla 3 se muestran los test de medias (método de Tukey) para la altura a las tres edades. La variación de la altura puede asimilarse en cada edad a una distribución normal, en las que va aumentando el coeficiente de variación total.

Los coeficientes de correlación entre las alturas a distintas edades varían para cada procedencia según consideremos árboles individuales, la media de cada unidad experimental o la media de cada origen (Tabla 4), aumentando dichos valores en este mismo orden.

Debido a los altos valores de los coeficientes de correlación podemos comparar los resultados al hacer la selección a diferentes edades. En nuestro caso la edad de referencia es la última disponible (H3). Esta comparación la podemos efectuar en función del número de procedencias que coincidan al comparar las dos edades, y la diferencia existente entre la media de las procedencias seleccionadas en la edad inicial y la media de las mejores procedencias a la edad de comparación (Tabla 5). Se han supuesto dos proporciones de selección: escoger en cada edad las 5 mejores procedencias ($p = 9,6$ p. 100) o las 10 mejores ($p = 19$ p. 100).

Según se observa en esta Tabla, la selección realizada a la edad de 5 años es efectiva si no se reduce en demasía el número de procedencias seleccionadas. Tampoco se aprecian grandes diferencias entre H2 y H3, es decir a estas edades la selección es muy efectiva, pudiendo considerarse casi definitiva.

TABLA 3
 TEST DE MEDIAS (METODO DE TUKEY) DEL FACTOR PROCEDENCIA A TRES EDADES H1, H2 y H3
 Total Height., Tukey T Test for the Factor Provenance at 5, 13 and 18 years old ($\alpha = 0,05$)

| | | | | | | | | |
|-------|-------------------|------|-------|------------------|------|-------|------------------|-------|
| * | 52. Lanjarón | 1,26 | * | 47. Leiria | 9,47 | * | 47. Leiria | 12,48 |
| ** | 48. Viana. Caste. | 1,24 | ** | 24. Pravia | 8,93 | ** | 24. Pravia | 11,50 |
| *** | 28. Cambados | 1,22 | ** | 27. Puenteareas | 8,91 | *** | 27. Puenteareas | 11,35 |
| **** | 9. Carballo | 1,18 | ** | 18. Almonaster | 8,47 | *** | 28. Cambados | 11,23 |
| ***** | 26. Entrimo | 1,17 | ** | 52. Lanjaron | 8,44 | *** | 18. Almonaster | 11,11 |
| ***** | 27. Puenteareas | 1,15 | ** | 28. Cambados | 8,39 | **** | 52. Lanjaron | 11,05 |
| ***** | 18. Almonaster | 1,08 | *** | 9. Carballo | 8,26 | ***** | 22. Ribadeo | 10,98 |
| ***** | 10. Boniches | 1,08 | **** | 48. Viana Caste. | 8,23 | ***** | 9. Carballo | 10,86 |
| ***** | 7. Maestrazgo | 1,04 | ***** | 26. Entrimo | 8,20 | ***** | 26. Entrimo | 10,80 |
| ***** | 25. Carballino | 1,04 | ***** | 10. Boniches | 8,00 | ***** | 25. Carballino | 10,65 |
| ***** | 22. Ribadeo | 1,04 | ***** | 3. Arenas | 7,96 | ***** | 10. Boniches | 10,47 |
| ***** | 47. Leiria | 1,02 | ***** | 22. Ribadeo | 7,94 | ***** | 48. Viana Caste. | 10,40 |
| ***** | 41. Pisa | 1,02 | ***** | 25. Carballino | 7,87 | ***** | 3. Arenas | 10,39 |
| ***** | 51. La Garganta | 1,00 | ***** | 51. La Garganta | 7,72 | ***** | 7. Maestrazgo | 10,33 |
| ***** | 49. Caravaca | 0,95 | ***** | 44. Córcega II | 7,70 | ***** | 51. La Garganta | 10,30 |
| ***** | 19. Cazorla | 0,95 | ***** | 19. Cazorla | 7,50 | ***** | 44. Córcega II | 10,28 |
| ***** | 24. Pravia | 0,94 | ***** | 7. Maestrazgo | 7,50 | ***** | 42. M. Central | 9,98 |
| ***** | 1. Paterna Mad. | 0,93 | ***** | 15. Almodóvar 2 | 7,46 | ***** | 12. Poyatos | 9,95 |
| ***** | 50. S.ª Espuña | 0,93 | ***** | 4. Arevalo | 7,37 | ***** | 11. Boniches 2 | 9,95 |
| ***** | 3. Arenas | 0,92 | ***** | 32. S. Leonardo | 7,34 | ***** | 2. Yeste | 9,88 |
| ***** | 15. Almodóvar 2 | 0,91 | ***** | 14. Almodóvar | 7,26 | ***** | 15. Almodóvar 2 | 9,87 |
| ***** | 11. Boniches 2 | 0,90 | ***** | 2. Yeste | 7,23 | ***** | 32. S. Leonardo | 9,86 |
| ***** | 44. Córcega II | 0,89 | ***** | 42. M. Central | 7,21 | ***** | 30. Turégano | 9,84 |
| ***** | 32. S. Leonardo | 0,88 | ***** | 11. Boniches 2 | 7,15 | ***** | 4. Arévalo | 9,80 |
| ***** | 36. Chelva | 0,88 | ***** | 5. Aranda | 7,02 | ***** | 14. Almodóvar | 9,79 |
| ***** | 43. Córcega I | 0,87 | ***** | 50. S.ª Espuña | 7,00 | ***** | 50. S.ª Espuña | 9,72 |
| ***** | 34. Rubielos | 0,87 | ***** | 12. Poyatos | 6,99 | ***** | 34. Rubielos | 9,67 |
| ***** | 14. Almodóvar | 0,87 | ***** | 20. S.ª Segura | 6,91 | ***** | 49. Caravaca | 9,66 |
| ***** | 12. Poyatos | 0,86 | ***** | 34. Rubielos | 6,91 | ***** | 19. Cazorla | 9,65 |
| ***** | 13. Poyatos 2 | 0,85 | ***** | 1. Paterna Mad. | 6,86 | ***** | 20. S.ª Segura | 9,55 |
| ***** | 20. S.ª Segura | 0,85 | ***** | 36. Chelva | 6,86 | ***** | 41. Pisa | 9,47 |
| ***** | 21. Tabuyo | 0,84 | ***** | 30. Turégano | 6,86 | ***** | 1. Paterna Mad. | 9,44 |
| ***** | 8. S.ª Espadan. | 0,84 | ***** | 49. Caravaca | 6,80 | ***** | 13. Poyatos 2 | 9,43 |

TABLA 3 (Continuación)
TEST DE MEDIAS (METODO DE TUKEY) DEL FACTOR PROCEDENCIA A TRES EDADES H1, H2 y H3
Total Height, Tukey T Test for the Factor Provenance at 5, 13 and 18 years old ($\alpha = 0,05$)

| | | | | | | | | |
|-------|-------------------|------|-------|-------------------|------|-------|-------------------|------|
| ***** | 4. Arévalo | 0,83 | ***** | 41. Pisa | 6,71 | ***** | 36. Chelva | 9,34 |
| ***** | 16. Albuñuelas | 0,83 | ***** | 29. Moraleja Co. | 6,64 | ***** | 23. Competa | 9,19 |
| ***** | 29. Moraleja | 0,82 | ***** | 40. Villanueva | 6,63 | ***** | 6. Oña | 9,11 |
| ***** | 43. M. Central | 0,82 | ***** | 13. Poyatos 2 | 6,60 | ***** | 29. Moraleja | 9,07 |
| ***** | 46. Atlas | 0,81 | ***** | 23. Competa | 6,55 | ***** | 31. Coca | 9,07 |
| ***** | 6. Oña | 0,81 | ***** | 16. Albuñuelas | 6,49 | ***** | 38. Traspinedo | 8,95 |
| ***** | 33. Bayubas | 0,80 | ***** | 31. Coca | 6,42 | ***** | 40. Villanueva | 8,91 |
| ***** | 38. Traspinedo | 0,79 | ***** | 6. Oña | 6,39 | ***** | 8. S.ª Espadán | 8,89 |
| ***** | 5. Aranda | 0,79 | ***** | 33. Bayubas | 6,36 | ***** | 5. Aranda | 8,89 |
| ***** | 39. Ataques | 0,77 | ***** | 37. Iscar | 6,33 | ***** | 39. Ataques | 8,89 |
| ***** | 40. Villanueva | 0,77 | ***** | 43. Córcega I | 6,30 | ***** | 43. Córcega I | 8,87 |
| ***** | 2. Yeste | 0,76 | ***** | 21. Tabuyo | 6,25 | ***** | 37. Iscar | 8,73 |
| ***** | 17. Solanillos | 0,74 | ***** | 39. Ataques | 6,22 | ***** | 35. Cortes. Paya. | 8,70 |
| ***** | 37. Iscar | 0,72 | ***** | 35. Cortes. Paya. | 6,21 | ***** | 33. Bayubas | 8,67 |
| ***** | 30. Turégano | 0,72 | **** | 8. S.ª Espadán. | 6,13 | ***** | 16. Albuñuelas | 8,66 |
| ***** | 23. Competa | 0,70 | **** | 38. Traspinedo | 6,13 | **** | 17. Solanillos | 8,45 |
| **** | 35. Cortes. Paya. | 0,69 | *** | 17. Solanillos | 6,12 | *** | 45. Tamjout | 7,93 |
| ** | 31. Coca | 0,65 | ** | 46. Atlas | 5,78 | ** | 46. Atlas | 7,88 |
| * | 45. Tamjout | 0,56 | * | 45. Tamjout | 5,36 | * | 21. Tabuyo | 7,54 |

TABLA 4

VALORES DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LAS ALTURAS A DISTINTAS EDADES Y NIVEL DE SIGNIFICACION

Correlation coefficients and significance level for the height at 5, 13 and 18 years old

| | | | | H1 | | | | H2 | | | | H3 | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|---|------|------|------|---------------------------------|----|------|------|------|----|----|------|------|------|------|
| | | | | H1 | 1,00 | | | | H1 | 1,00 | | | | H0 | 1,00 | | | |
| | | | | | 0,00 | | | | | 0,00 | | | | H1 | 0,57 | 1,00 | | |
| | | | | H2 | 0,58 | 1,00 | | | H2 | 0,74 | 1,00 | | | H2 | 0,52 | 0,86 | 1,00 | |
| | | | | | 0,01 | 0,00 | | | | 0,01 | 0,00 | | | | 0,01 | 0,01 | 0,00 | |
| | | | | H3 | 0,54 | 0,74 | 1,00 | | H3 | 0,67 | 0,92 | 1,00 | | H3 | 0,48 | 0,81 | 0,95 | 1,00 |
| | | | | | 0,01 | 0,01 | 0,00 | | | 0,01 | 0,01 | 0,00 | | | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | H1 | H2 | H3 | | H1 | H2 | H3 | | H0 | H1 | H2 | H3 | | | |
| Datos corregidos (N = 1981) | | | | Valor medio por unidad experimental (N = 132) | | | | Valor medio por origen (N = 52) | | | | | | | | | | |
| Individual trees (N = 1981) | | | | Plot means (N = 132) | | | | Provenance means (N = 52) | | | | | | | | | | |

TABLA 5

COMPARACION ENTRE LA SELECCION A UNA EDAD TEMPRANA Y LOS RESULTADOS DE INVENTARIOS POSTERIORES. NUMERO DE PROCEDENCIAS QUE COINCIDEN A LAS DOS EDADES (1), MEDIA DE LAS 5 O 10 MEJORES PROCEDENCIAS A CADA EDAD Y MEDIA DE LAS PROCEDENCIAS SELECCIONADAS A UNA EDAD DE REFERENCIA (2) Y SUPERIORIDAD DE LAS MEJORES PROCEDENCIAS RESPECTO A LAS SELECCIONADAS EN FUNCION DE INVENTARIOS ANTERIORES P. 100 (3)

Comparison between selection at different ages, for 2 selection proportions: (a) 10 best provenances, 19,2 p. 100 and (b) 5 best provenances, 9 p. 100 (1): Number of provenances among the top 5 or 10 at the two ages. (2): Height means at age i of 10 top provenances at age i-1 and height means of 5 or 10 top provenances at age i (3) Gain p. 100

(a) p = 19,2 p. 100 (10 procedencias elegidas).

| | | Edad selección | | | | | |
|----|-----|----------------|--------|------------|--------|----------|--------|
| | | H1 | | H2 | | H3 | |
| H1 | (1) | 10 | | — | | — | |
| | (2) | 1,15 | (1,15) | | | | |
| | (3) | 0 p. 100 | | | | | |
| H2 | (1) | 8 | | 10 | | — | |
| | (2) | 8,23 | (8,53) | 8,53 | (8,53) | | |
| | (3) | 3,6 p. 100 | | 0 p. 100 | | | |
| H3 | (1) | 7 | | 8 | | 10 | |
| | (2) | 10,83 | (11,2) | 11,18 | (11,2) | 11,2 | (11,2) |
| | (3) | 3,5 p. 100 | | 0,3 p. 100 | | 0 p. 100 | |

(b) $p = 9,6$ p. 100 (5 procedencias elegidas).

| | | Edad selección | | |
|----|-----|----------------|---------------|-------------|
| | | H1 | H2 | H3 |
| H1 | (1) | 5 | — | — |
| | (2) | 1,15 (1,15) | | |
| | (3) | 0 p. 100 | | |
| H2 | (1) | 1 | 5 | — |
| | (2) | 8,31 (8,84) | 8,84 (8,84) | |
| | (3) | 6,4 p. 100 | 0 p. 100 | |
| H3 | (1) | 2 | 4 | 5 |
| | (2) | 10,89 (11,5) | 11,50 (11,55) | 11,5 (11,5) |
| | (3) | 6,1 p. 100 | 0,4 p. 100 | 0 p. 100 |

Hemos de tener en cuenta que el turno de máxima renta en especie oscila alrededor de los 100 años para esta especie (García, Gómez, 1990). Es decir el último valor disponible de la altura (H3) es 1/5 del turno de la especie. Sin embargo, en el caso de las procedencias tratamos con elementos con importantes diferencias genotípicas que facilitan la selección temprana (Nanson, 1976).

Considerando el nivel de procedencia (y trabajando con valores medios por unidad experimental) se puede decir que las mejores procedencias a los 5 años lo siguen siendo a los 18. Esto está de acuerdo con lo señalado por Illy (1966) para la parcela situada en Malgaches (Landas), en la que existe un crecimiento lineal y casi paralelo de las procedencias allí instaladas.

Sin embargo en nuestro caso no todas las procedencias se comportan de igual forma. Para ello podemos estudiar la evolución de las procedencias con la edad. Basándonos en la Figura 2, en la que se representan los coeficientes de regresión (b) de las rectas de la altura alcanzada a cada edad frente a la media de la parcela (Hm) y la altura media de la procedencia en la parcela a los 5 años (Hm), se pueden diferenciar 6 grupos de procedencias con una clara interpretación geográfica.

Estos seis grupos pueden caracterizarse de la siguiente forma:

1. Procedencias con buen crecimiento inicial ($hm > 1,1 Hm$) que se mantiene ($b > 1,1$). Este grupo está formado por casi todas las procedencias atlánticas. A ellas habría que añadir la n.º 18, Almonaster, que procede de una repoblación cuyo origen es desconocido (aunque probablemente gallego), y la n.º 10, Boniches, que está en este grupo más por su buen crecimiento inicial que por el posterior.
2. Buen crecimiento inicial ($hm > 1,1 Hm$) que lo mantienen ($0,9 < b < 1,1$). Es un grupo de transición entre el anterior y el siguiente. En él se incluyen solamente 4 procedencias (Landas, una portuguesa, una gallega y una del sistema Ibérico).
3. Crecimiento inicial medio ($0,9 Hm > Hm > 1,1 Hm$) que lo mantienen ($0,9 > b > 1,1$). Es el grupo más numeroso de procedencias, caracterizado porque mantiene un ritmo medio de crecimiento a lo largo de las mediciones realizadas. Se trata de la procedencia de Arenas de San Pedro, las procedencias de Cazorla y Segura, aunque de ellas la n.º 2 tiene un mal crecimiento inicial, y las procedencias del Sistema Ibérico.

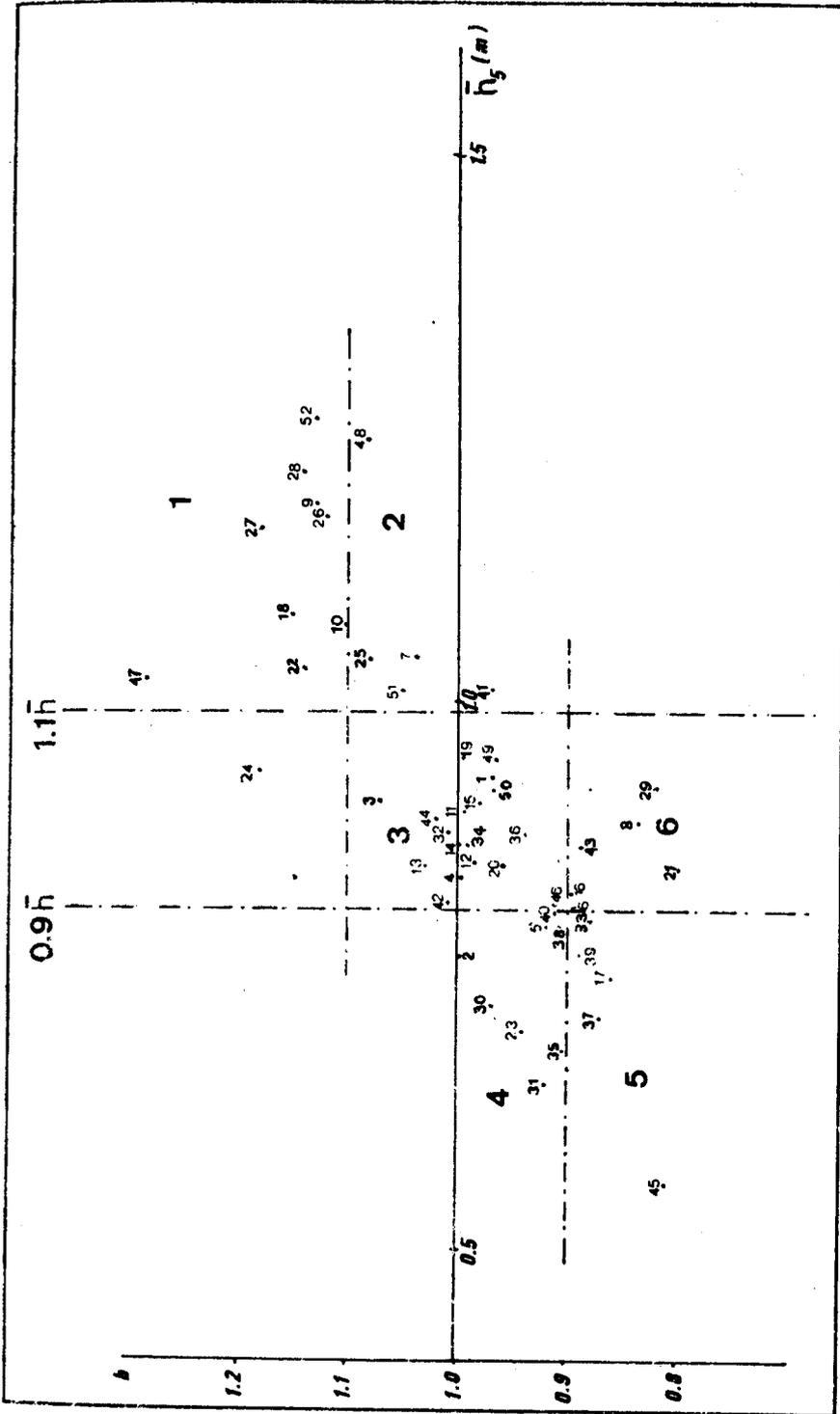


Fig. 2.—Gráfico de la altura media de la procedencia (\bar{h}_m)/Coeficiente de regresión (b) del crecimiento en altura en la parcela de Acebo.
 Height at age 5 (\bar{h}_m)/Regression coefficient (b) at 3 ages.

4. Crecimiento inicial malo ($hm > 0,9 Hm$), que lo mantienen ($0,9 < b < 1,1$). En este grupo se incluyen las procedencias de la meseta Castellana a las que se une una marroquí y una de la sierra de Cómpea.
5. Crecimiento inicial medio ($0,9 Hm > hm > 1,1 Hm$) que luego disminuye ($b < 0,9$). Dentro de este grupo se incluyen las procedencias que ralentizan su crecimiento en altura.
De ellas la procedencia de Tabuyo tiene un crecimiento lento frente al resto, lo que hace que a los 18 años sea la procedencia con menor altura total de todo el ensayo.
6. Crecimiento inicial malo ($hm > 0,9 Hm$) que empeora ($b < 0,9$).

De ellas destaca por su bajo crecimiento la n.º 45 (Tamjout). También se incluyen algunas procedencias del centro de España (n.º 33, 37 y 39) y una del Sistema Ibérico.

Guyón y Kremer (1982), señalan que la superioridad en el crecimiento de las procedencias atlánticas es debido a una reacción más rápida a las variaciones climáticas anuales, siendo por tanto las más inestables. Por el contrario la procedencia de Tamjout (Marruecos) se mantiene indiferente a la mejora de las condiciones del medio. Las procedencias del sur-este de Francia, Italia y España son intermedias. Según estos mismos autores esto puede achacarse a que en medios xéricos la selección natural ha favorecido aquellos individuos que limitan al máximo la pérdida de agua. Por el contrario en la zona más lluviosa la selección natural ha favorecido a los individuos de crecimiento rápido que mejor compiten con la vegetación herbácea o con otros árboles.

Las características climáticas de esta parcela, con precipitaciones abundantes, período de sequía reducido, es muy similar a la analizada por Molina (1965) en la que las procedencias gallegas eran las mejores, observándose una ordenación similar de las procedencias a la encontrada en la parcela de Acebo. Lo cual confirma la estabilidad de las procedencias cuando están sometidas a este tipo de medios.

En cuanto a la variación geográfica, se puede apreciar la gran heterogeneidad existente en las procedencias españolas de *Pinus pinaster*. Así dentro del grupo atlántico (Baradat, Marpeu, 1988) existen procedencias con comportamientos de crecimiento muy diferentes: gallegas por un lado, Arenas de S. Pedro en un grupo intermedio y por último las procedencias de la Meseta Castellana que presentan un crecimiento lento. Lo mismo ocurre en la raza perimediterránea, que incluye procedencias con ritmos de crecimiento muy diferentes.

CONCLUSIONES

La selección de las mejores procedencias de *Pinus pinaster* puede efectuarse a la edad de 5 años, eligiendo el 20 p. 100 de las mejores procedencias. Las escasas diferencias entre la altura a los 13 y 18 años no permite aumentar la ganancia obtenida retrasando la edad de selección. Mas teniendo en cuenta que el crecimiento de las procedencias es aún lineal (Zazo, 1990) y los cambios de posición entre las procedencias puede explicarse por la distinta respuesta de las procedencias a las condiciones ambientales de la parcela, sin apenas sequía estival y un clima adecuado para el crecimiento de la especie. El gran número de procedencias existente en el grupo 3 nos indica que la mayoría de las procedencias mantienen un crecimiento estable en comparación con las otras procedencias. La existencia de una fuerte interacción procedencia-ambiente (Alia, 1989), ligado principalmente a las procedencias atlánticas al ensayarlos en sitios más secos y fríos que el aquí descrito, no permite

extender estos resultados a medios más variables climáticamente puesto que en ellos las procedencias seleccionadas a una edad pueden no coincidir a otras edades si las condiciones ambientales han variado.

SUMMARY

Interaction Provenance-Age in 52 provenances of *Pinus pinaster* Ait. in Spain

The paper present results of an all range *Pinus pinaster* provenances study in Spain (42 spanish, 2 portuguese, 5 french and 1 italian provenances), conducted in a four-replicated complete block design provenance test.

Height growth for each provenance is analyzed at 1, 5, 14 and 18 years after planting.

Comparisons of height at different ages show that selection of best provenances at 18 years old could be made at 5 years old, if the number of provenances is not too small (> 10 p. 100).

Height growth at different ages is also studied like a provenance-site interaction. Joint regression analysis show a geographical distribution of provenances using two parameters: provenance height at 5 years old, and regression coefficient of the provenance height on the height mean of the test (bi).

KEY WORDS: *Pinus pinaster*
provenances
selection
height growth
age-age correlations

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALIA R., 1989. *Mejora genética de Pinus pinaster: Estudio de procedencias*. Tesis Doctoral. ETSIM, Madrid (sin publicar).
- ARBEZ M., BARADAT P., MAUGE J. P., MILLIER C., BADIA J., 1974. Some problems related to use of selection indices in Forest Tree Breeding. *Proc. Joint IUFRO Meet. S-02-04-01-3*. Stockholm, p: 97-116.
- BARADAT P., 1975. The juvenile-mature genetic correlations, their importance for understanding changes in physiology of forest trees and for selection. *Physiol. Conf. IUFRO. S-2.01.04*. Edimburgh, 17 pp.
- BARADAT P., 1976. Use of juvenile-mature relationships and information from relatives in combined multitrait selection. *IUFRO Joint Meeting on Advanced Generation Breeding. Bordeaux. June 14-18, 1976*. INRA. Bordeaux, p: 121-138.
- BARADAT P., MARPEU A., 1988. *Le Pin maritime Pinus pinaster Ait. Biologie et génétique des terpènes pour la connaissance et l'amélioration de l'espèce*. Thèse. Université Bordeaux I.
- FINLAY K. W., WILKINSON G. N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, 14:742-745.
- FOSTER G. S., 1986. Trends in Genetic Parameters with stand development and their influence on early selection for volume growth in loblolly pine. *Forest Sci.* Vol. 32. N.º4: 944-959.
- FRANKLIN F. C., 1979. Model relating levels of genetic variance to stand development of four North American conifers. *Silvae Genetica*. 28 5-6: 207-212.
- FREEMAN G. H., 1973. Statistical methods for the analysis of Genotype-Environment Interactions. *Heredity*. 31(3): 339-354.
- GARCIA J. L., GOMEZ J. A., 1989. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus pinaster* Ait. en el Sistema Central. *Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales*. N.º 47, 45 p.

- GIERTYCH M., 1974. Inadequacy of early tests for growth characters as evidenced by a 59 year old experiment. *Proceedings Joint IUFRO Meeting. S-02-04-1-3*. Stockholm, p: 273-242.
- GUYON J. P., KREMER A., 1982. Stabilité phénotipique de la croissance en hauteur et cinétique journalière de la pression de sève et de la transpiration chez le Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.). *Can. J. For. Res.* 12: 936-946.
- ILLY G., 1966. Recherches sur l'amélioration génétique du Pin maritime. *Ann. Sci. Forest.* 23: 757-948.
- KREMER A., 1981. Déterminisme génétique de la croissance en hauteur du Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.). II. Comportement interannuel, interaction genotype - année. *Ann. Sci. For.* 38: 331-355.
- KREMER A., 1986. Les variations d'expressions du génotype (correlation juvénile-adulte et interaction du génotype et milieu). Approche quantitative et explicative. *Rev. For. Franc.* n.º spécial: 40-47.
- LAMBETH C. C., 1980. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and Implications for early selection. *Forest Science*. Vol. 26. N. 4:571-580.
- LAMBETH C. C., van BUIJTENEN J. P., DUKE S. D., McCULLOUGH R. B., 1983. Early selection is effective in 20 year old genetic tests of Loblolly pine. *Silvae Genetica*. 32.5/6: 210-215.
- MAUGE J. M., ALAZARD P., CASTAING J. Ph., LEVADOU D., 1976. Critères de sélection pour la croissance en hauteur du Pin maritime. *Ann. Rech. Sylvic. AFOCEL*, p: 331-350.
- MOLINA F. Comportamiento racial del *Pinus pinaster* en el noroeste de España. *Anales IFIE*. 2 (10): 221-228.
- NANSON A., 1976. Juvenile-mature relationships mainly in provenance and progeny tests. *IUFRO Joint Meeting on Advanced Generation Breeding. Bordeaux. June 14-18. 1976*. INRA. Bordeaux, p: 99-119.
- SQUILLACE A. E., GAUL C. D., 1974. Juvenile mature correlations in Slash pine. *Forest Science*. Vol. 20. N.º 3: 225-229.
- ZAZO J., 1990. *Estudio epidométrico de orígenes de Pinus pinaster Ait. en la parcela de Acebo (Cáceres)*. Trabajo Fin de Carrera. ETSIM. Madrid (sin publicar).