

# COMPORTAMIENTO DE PROCEDENCIAS DE *Pinus pinaster* Ait. EN EL CENTRO DE ESPAÑA

R. ALIA

J. MORO

Area de Selvicultura y Mejora. CIFOR-INIA  
Apdo. 8111. 28080 Madrid

## RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de 52 procedencias de Pino negral (44 procedencias nacionales y 8 extranjeras) situadas en cinco localidades del centro de España. El diseño empleado es el Aleatorizado en Bloques Completos con cuatro repeticiones. Los caracteres medidos a los 18 años de la plantación son la supervivencia, altura total, diámetro normal y frecuencia de años en que se presentan dos ciclos de crecimiento.

El Análisis realizado permite concluir que las heredabilidades obtenidas para los caracteres analizados son superiores a 0,5. El factor localidad tiene una menor importancia en la expresión del policiclismo y la supervivencia que en la altura, el diámetro y el volumen. La importancia del componente debido a la interacción procedencia x localidad apunta la existencia de comportamientos diferenciales entre las procedencias.

El Pino negral manifiesta una notable variación genética entre sus poblaciones en los caracteres analizados. Las procedencias atlánticas tienen un mayor crecimiento en altura y diámetro con una tendencia baja al policiclismo, pero parecen estar peor adaptadas a las localidades que presentan un período seco prolongado. Las procedencias de media montaña (como AV1, SO1 y CU), presentan unos resultados aceptables en el conjunto de las localidades. Es de destacar el crecimiento de las procedencias CR1 y GR2, obtenidas de repoblaciones. Algunas fuentes de semilla españolas ampliamente utilizadas en repoblaciones (Coca, Montes del Teleno), manifiestan un crecimiento por debajo del promedio de todas las poblaciones estudiadas.

**PALABRAS CLAVE:** *Pinus pinaster*  
Procedencias  
Variación genética

---

Recibido: 23-2-96

Aceptado para su publicación: 4-7-96

## INTRODUCCION

El pino negral, *Pinus pinaster* Aiton, es una especie que se halla localizada en las regiones costeras, europeas y norteafricanas del mediterráneo occidental, para llegar al litoral atlántico por Portugal, España y Francia. Este área natural se encuentra ampliada en la actualidad con extensas repoblaciones, así en España ha llegado a ocupar una superficie de más de 1.000.000 de ha.

La especie manifiesta una gran variación genética entre sus masas. Baradat, Marpeau (1988) diferencian 18 razas geográficas elementales, agrupadas en tres grandes grupos de poblaciones: Atlántico, mediterráneo europeo y magrebí.

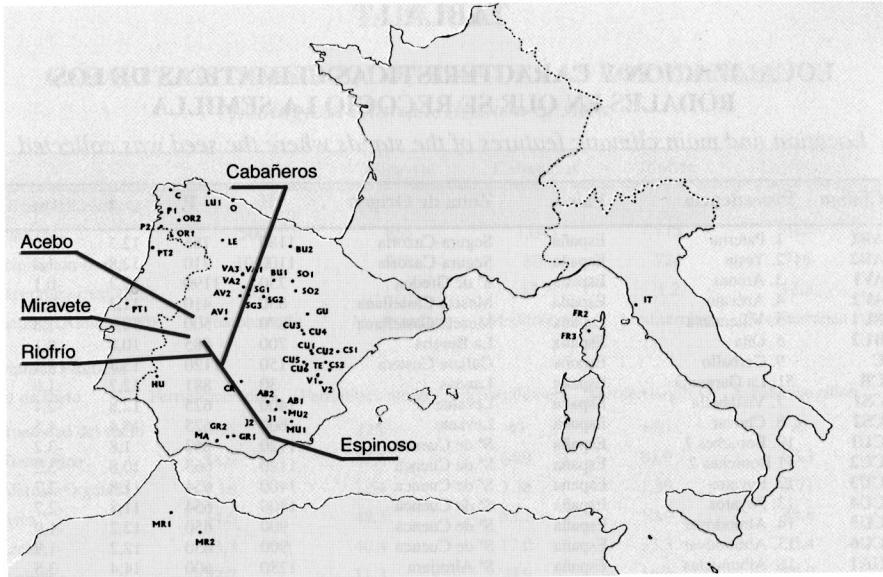
Esta variación genética se corresponde con la existencia de grandes diferencias en el comportamiento de las distintas procedencias con vistas a su uso en repoblaciones. Las diferencias más importantes encontradas se relacionan con su crecimiento y adaptación a distintas condiciones ecológicas. Así, se han descrito: la distinta sensibilidad al frío (Bouvarel, 1960; Illy, 1966); a la sequía (Guyon, Kremer, 1982; Sarrauste, 1982; Nguyen, Lamant, 1988) y forma y crecimiento (Rycroft, Witch, 1947; Sweet, Thulin, 1962; Molina, 1965; Illy, 1966; Harris, 1966; Matziris, 1982).

Los ensayos realizados en Galicia (Molina, 1965) han demostrado la mejor adaptación de las procedencias gallegas locales a las condiciones de ensayo, tanto en el crecimiento como en la forma del fuste de los árboles. La gran variación encontrada entre las procedencias españolas y el distinto comportamiento de las procedencias cuando se encuentran sometidas a otros climas (Bellefontaine, 1975; Matziris, 1982) hacía necesario estudiar el comportamiento de las procedencias de *Pinus pinaster* en localidades sometidas a climas mediterráneos, muy representados en España, donde esta especie ocupa alrededor de 600.000 ha. En tales condiciones la especie puede ser utilizada ampliamente en nuevas repoblaciones.

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de 52 procedencias de Pino negral situadas en cinco localidades del centro de España. El ensayo fue implantado en 1967 por el antiguo Patrimonio Forestal del Estado. Los caracteres observados son la supervivencia, altura total, diámetro normal y frecuencia de años en que se presentan dos ciclos de crecimiento.

## MATERIAL Y METODOS

En el ensayo hay representadas 44 procedencias nacionales, del área natural de la especie y ocho extranjeras, de las que tres son francesas, una italiana, dos marroquíes y dos portuguesas (Tabla 1). Dos procedencias argelinas, que no se ensayaron en todas las localidades, presentaron una mortalidad elevada y han sido ignoradas en este estudio. Las localidades son: Acebo y Miravete (Cáceres); Cabañeros y Riofrío (Ciudad Real); Espinoso (Toledo), cuyas características eco-



**Fig. 1.- Localización de las procedencias y de las parcelas de ensayo**  
*Location of provenances and planting sites*

lógicas se muestran en la Tabla 2. En la Figura 1 se muestra la localización de las procedencias y de las localidades de ensayo.

El diseño empleado es el Aleatorizado en Bloques Completos con cuatro repeticiones. El bloque dispone las parcelas en un retículo de aproximadamente 13 filas por 4 columnas. La unidad experimental es una parcela con 16 árboles dispuestos en cuatro filas de cuatro con marco de 2,5 m. No se dejó franja de borde o separación entre parcelas, ni entre bloques.

Los ensayos sufrieron diversas vicisitudes en su ejecución y convirtieron los diseños en incompletos. Un incendio en Acebo arrasó un buen número de parcelas del segundo y tercer bloque. En Cabañeros las procedencias CS1 y CS2, PO2 y VA4 perdieron 1 ó 2 réplicas. La procedencia VA1 falta del ensayo, que incluyó a las dos procedencias argelinas. El ensayo de Espinosa excluyó siete procedencias, resultando equirreplicado en las restantes. El ensayo de Miravete es completo. Finalmente en el de Riofrío la procedencia CS2 perdió una replica y faltan las procedencias CU4 y VA1 que se substituyeron por las dos argelinas.

Las marras disminuyen a veces notablemente el número de árboles de la parcela. Se definió la variable Supervivencia como el cociente del número de árboles medidos entre 16. Esta variable fue transformada a  $SUP = \arcsin(\sqrt{\cdot})$  para su análisis. Se consideraron los fallos de la parcela completa como datos ausentes.

TABLA 1

**LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE LOS  
RODALES EN QUE SE RECOGIO LA SEMILLA**

*Location and main climatic features of the stands where the seed was collected*

Código	Procedencia	País	Zona de Origen	H	P	t	tm
AB1	1. Paterna	España	Segura-Cazorla	1180	785	12,3	0,0
AB2	2. Yeste	España	Segura-Cazorla	1100	710	12,9	1,4
AV1	3. Arenas	España	S <sup>a</sup> de Gredos	750	1190	12,2	-0,1
AV2	4. Arévalo	España	Meseta Castellana	830	410	11,3	-2,1
BU1	5. Villanueva	España	Meseta Castellana	870	500	10,9	-1,5
BU2	6. Oña	España	La Bureba	700	685	10,8	0,1
C	9. Carballo	España	Galicia Costera	150	1120	13,7	8,1
CR	51. La Garganta	España	Landas	30	881	12,7	1,6
CS1	7. Vistabella	España	Levante	1400	625	12,8	-2,1
CS2	8. Chovar	España	Levante	600	625	15,4	4,5
CU1	10. Boniches 1	España	S <sup>a</sup> de Cuenca	1120	663	1,8	-3,2
CU2	11. Boniches 2	España	S <sup>a</sup> de Cuenca	1120	663	10,8	-3,2
CU3	12. Poyatos	España	S <sup>a</sup> de Cuenca	1400	654	11,8	-2,7
CU4	13. Poyatos	España	S <sup>a</sup> de Cuenca	1400	654	11,8	-2,7
CU5	14. Almodóvar	España	S <sup>a</sup> de Cuenca	900	650	12,2	-1,9
CU6	15. Almodóvar	España	S <sup>a</sup> de Cuenca	900	650	12,2	-1,9
GRI	16. Albuñuelas	España	S <sup>a</sup> Almjara	1280	600	14,4	3,5
GR2	52. Lanjarón	España	Córcega	--	--	--	-4,0
GU	17. Solanillos	España	Alcarria	1215	585	11,4	-1,2
HU	18. Almonaster	España	Desconocido	--	981	16,5	4,8
J1	19. Orcera	España	Segura-Cazorla	1070	830	13,7	2,4
J2	20. Carzorla	España	Segura-Cazorla	820	985	14,0	1,7
LE	21. Tabuyo	España	S <sup>a</sup> del Teleno	900	750	9,7	-1,3
LU	22. Ribadeo	España	Galicia Costera	180	1050	13,1	8,0
MA	23. Cómpea	España	S <sup>a</sup> Almjara-Nevada	900	752	9,7	5,0
MU1	49. Caravaca	España	S <sup>a</sup> Subbéticas	1100	510	13,6	3,0
MU2	50. S <sup>a</sup> Espuña	España	S <sup>a</sup> Subbéticas	1480	435	14,3	1,9
O	24. Pravia	España	Galicia Costera	185	1220	13,2	5,4
OR1	26. Carballino	España	Galicia Interior	470	1370	12,8	2,0
OR2	25. Entrimo	España	Galicia Interior	600	1810	10,5	1,5
PO1	27. Cambados	España	Galicia Costera	60	1300	14,8	8,0
PO2	28. Puenteáreas	España	Galicia Costera	60	1300	14,8	4,1
SG1	29. Moraleja	España	Meseta Castellana	800	475	11,4	-1,3
SG2	30. Turégano	España	Meseta Castellana	925	580	9,9	-1,9
SG3	31. Coca	España	Meseta Castellana	810	475	11,4	-2,2
SO1	32. S. Leonardo	España	Soria-Burgos	1200	641	8,7	-2,8
SO2	33. Bayubas	España	Meseta Castellana	910	550	10,8	-1,9
TE	34. Rubielos	España	Maestrazgo	800	495	12,7	-1,4
V1	35. Cortes Payás	España	Levante	800	495	15,5	2,1
V2	36. Chelva	España	S <sup>a</sup> de Cuenca	790	495	12,7	1,4
VA1	37. Iscar	España	Meseta Castellana	800	450	11,5	-1,1
VA2	38. Traspinedo	España	Meseta Castellana	730	510	11,5	-1,1
VA3	39. Ataquines	España	Meseta Castellana	800	448	11,5	-1,4
VA4	40. Villaverde	España	Meseta Castellana	750	471	11,5	-1,1
FR1	42. Macizo Central	Francia	Francia	--	--	--	--
FR2	43. Córcega 1	Francia	Córcega	450	698	16,1	--
FR3	44. Córcega 2	Francia	Córcega	850	780	13,7	--
IT	41. Pisa	Italia	Italia	100	1013	14,8	--
MR1	45. Tamjout	Marruecos	Marruecos	1600	650	--	--
MR2	46. Ibel-Tassali	Marruecos	Marruecos	2100	391	--	--
PT1	47. Leiria	Portugal	Leiria	100	750	13,5	6,1
PT2	48. Viana Castelo	Portugal	Portugal	100	1189	14,8	5,7

H: Altitud (m)

t: Temperatura media anual (°C)

P: Precipitación (mm)

tm: tª media de las mínimas del mes más frío (°C)

**TABLA 2**  
**CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE LAS LOCALIDADES**  
*Ecological characterization of sites*

	Acebo	Miravete	Cabañeros	Riofrío	Esplascos
<b>Variables Climáticas</b>					
Altitud (m)	500	655	1,045	775	830
Precipitación (mm)	1053	918	800	724	716
Temperatura media (°c)	15,6	15,7	12,8	1,2	13,4
Fitoclima (Allue, 1990)	Nemoromedit.	Mediterráneo	Mediterráneo	Mediterráneo	Mediterráneo
<b>Variables Edáficas</b>					
Tipo de suelo	Ferrialítico ácido	Ferrialítico ácido	Ferriargilúvico	Xeroferriargílico	Xeroferriargílico
Profundidad del suelo	>60	125	40	>50	90
% Tierra Fina	58,9	67,1	64,9	84,9	63,3
% Materia Orgánica	1,16	1,54	3,36	1,39	1,71
% Arena	34,0	48,3	53,1	50,4	48,6
% Limo	43,3	40,4	17,0	33,3	35,4
% Arcilla	22,7	11,3	29,9	16,3	16,0
pH	4,8	4,7	5,0	5,2	4,8

Los caracteres medidos a los 18 años, que consideramos, son :

- Altura total en metros (H)
- Diámetro normal en centímetros (D)
- Número de años en que son policíclicos de los últimos diez (POL).

La variable POL fue, también, transformada a  $\sqrt{\text{POL}}$  para reducir la heterogeneidad de su variancia.

Se determinó el volumen medio V con corteza, como media por árbol, calculando el volumen de cada uno, en decímetros cúbicos, mediante la fórmula (IFN. 1979):

$$V=4,53+0,0333237D^2H$$

La validez de esta fórmula se comprobó por la cubicación de 40 árboles en pie en la localidad de Acebo. La forma asimétrica de la distribución muestral, con una cola derecha prolongada, sugirió una transformación logarítmica de V.

Finalmente, se definió en cada parcela una variable de homogeneidad,

$$\text{HOMH}=\log(\text{cv}), \text{cv}=100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2/n}{\bar{H}}}$$

en que  $H_i$  es la altura del i-ésimo árbol del total n de la parcela y  $\bar{H}$  su media. Se procedió análogamente con el diámetro. Valores pequeños de HOMH (HOMD)

en relación al promedio indican una mayor uniformidad en el desarrollo o expresión del correspondiente carácter de la procedencia dentro de un mismo ambiente. Posteriormente se alude a la estabilidad de una procedencia, respecto a un carácter observado, en referencia a su tendencia a ocupar posiciones similares en la ordenación según dicho carácter del conjunto de procedencias en cada una de las localidades.

### Métodos de análisis

#### Análisis individual de las localidades

Se efectúa como diseños en bloques según el Modelo Lineal de Efectos Fijos que expresa el rendimiento (altura, diámetro, etc) de la procedencia  $i$  en el bloque  $k$  por:

$$y_{ik} = \mu + \alpha_i^V + \alpha_k^B + e_{ik}; \quad i=1, \dots, +v; \quad k=1, \dots, b; \quad \sum_i \alpha_i^V = \sum_k \alpha_k^B = 0; \quad (\text{BI})$$

siendo  $\mu$  una media general,  $\alpha^V$  el efecto de las procedencias y  $\alpha^B$  el de los bloques. Todos los factores son fijos salvo el residuo que se supone  $e \sim N(0, \sigma^2 I_N)$ , siendo  $N$  el total de observaciones.

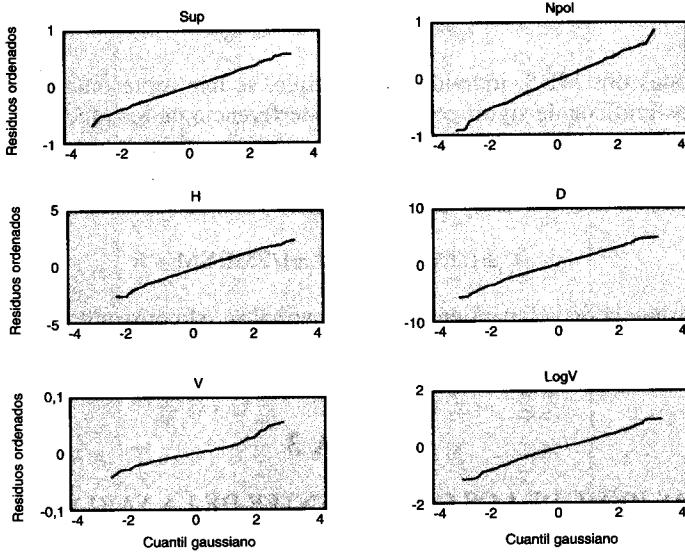
La Figura 2 corresponde a las representaciones Cuantil-Cuantil de los residuos. Las discrepancias respecto a la suposición de normalidad aparecen notables en la variable volumen. Una transformación logarítmica regulariza considerablemente la distribución como se aprecia en las dos últimas figuras. A pesar de la transformación de la raíz cuadrada en el policiclismo, todavía quedan indicaciones de curtosis demasiado alta, pero se consideran ya aceptables. El resto de las figuras no muestra discrepancias a tener en cuenta.

#### Análisis Combinado de las localidades

Para un análisis conjunto de las cinco localidades, de cada variable sucesivamente, se postula el modelo mixto

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i^V + b_j^L + b_{ij}^{VL} + b_{jk}^B + e_{ijk}; \quad i=1, \dots, 52; \quad j=1, \dots, 5; \quad k=1, \dots, n_{ij}. \quad (\text{MA})$$

con la restricción  $\sum \alpha_i^V = 0$ . Se designa por  $y_{ijk}$  a la observación de la procedencia  $i$  en el bloque  $k$  de la localidad  $j$ . Se supone que los efectos de los factores aleatorios se distribuyen:  $b_j^L \sim N(0, \sigma_L^2)$ ,  $b_{ij}^{VL} \sim N(0, \sigma_{VL}^2)$ ,  $b_{jk}^B \sim N(0, \sigma_B^2)$ ,  $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$  e independientes. El único efecto fijo, aparte de la media general  $\mu$ , es el de las procedencias  $\alpha_i^V$ , cuya estima nos proponemos. Los factores aleatorios representan las localidades cuyo efecto se designa por  $b_j^L$ , los bloques anidados dentro de localidades  $b_{jk}^B$ , la interacción de procedencias y localidades  $b_{ij}^{VL}$ , y el residuo  $e_{ijk}$ . El número de bloques o repeticiones  $n_{ij}$  puede variar de 0 a 4, para cada combinación de procedencia y localidad.



**Fig. 2.- Representación cuantil-cuantil de las variables analizadas**  
*Percentile graphs for the analysed variables*

Al postular este modelo se supone que las localidades constituyen una muestra aleatoria dentro de la zona objeto de estudio. Esta suposición es habitual y viene forzada por nuestro deseo de inferir sobre los efectos de las procedencias como promedios en la zona objeto de estudio. La interacción  $b^{VL}$ , se considera como un “ruido” aleatorio que se agrega al residuo  $e$  para obtener el término de comparación de las diferencias entre dichos efectos.

El ajuste de MA se realiza estimando primero los componentes de la varianza por máxima-verosimilitud restringida (REML). Con estos componentes (Tabla 3) se estima la matriz de varianzas-covarianzas de las  $y_{ijk}$  y se emplea el método de los Mínimos-Cuadrados Generalizados para determinar los efectos fijos.

### Comparación de los efectos principales

Como hemos señalado, la comparación entre las procedencias  $\alpha_i^v - \alpha_j^v$ , se efectúa para el promedio de las localidades.

La Mínima Diferencia Significativa (MDS) al nivel del 5 p.100 se obtiene multiplicando la desviación estándar media de la diferencia  $s_d$  por la desviación de Student con  $g_e = (I-1)(J-1)$  grados de libertad,  $t_{g_e; 2,5\%}$ . La MDS permite declarar a las procedencias significativamente distintas con un nivel de protección  $\alpha$  individual. Una protección conjunta, para todas las comparaciones posibles, se obtiene calculando la MDS múltiple (MDSM), mediante el recorrido estudentizado, según la propuesta de Tukey (vease por ej. Hoaglin et al., 1991).

Se tiene:

$$MDS \cong t_{g_e; \alpha/2} s_d ; MDSM \cong q_{51, g_e; \alpha} s_d / \sqrt{2}.$$

Con estas dos MDS, individual y múltiple, se han representando para cada variable los gráficos de significatividad o interferencia de los efectos de las procedencias al nivel  $\alpha=5$  p. 100. En ellos aparecen ordenadas las procedencias sobre el eje de abscisas según el valor de su efecto principal, que se representa como ordenada. Por encima y debajo de dicho valor se representan

$$\hat{\alpha}_i^v \pm 1/2MDS \text{ y } \hat{\alpha}_i^v \pm 1/2MDSM$$

La existencia de solapamiento en los intervalos así construidos de un par de procedencias cualesquiera indica que no difieren significativamente al nivel y tipo de protección elegido.

**TABLA 3**

**ESTIMAS REML DE LOS COMPONENTES DE LA VARIANZA Y SUS DESVIACIONES TÍPICAS (entre paréntesis)**

*REML estimates of the variance components and standard deviation (in brackets)*

Variable	Media	$\sigma_e^2$	$\sigma_{\mu}^2$	$\sigma_{\mu_1}^2$	$\sigma_{\mu_2}^2$	$s_e$
Supervivencia	1,15	0,0071 (0,0022)	0,0035 (0,0031)	0,0056 (0,0019)	0,002 (0,0011)	0,045 (0,0024)
Policiclismo	0,99	0,031 (0,0075)	0,176 (0,125)	0,0121 (0,0034)	0,0032 (0,0018)	0,075 (0,0041)
Altura	6,99	0,157 (0,048)	4,53 (3,25)	0,106 (0,042)	0,223 (0,090)	1,052 (0,057)
Diámetro	13,55	0,487 (0,171)	6,13 (4,42)	0,814 (0,179)	0,333 (0,148)	3,343 (0,181)
Volumen	3,86	0,0125 (0,0049)	0,315 (0,227)	0,0223 (0,0059)	0,0180 (0,0075)	0,126 (0,0068)

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis individual de las localidades

Los análisis de la varianza se presentan en la Tabla 4. Las varianzas residuales se mantienen bastante estables con un recorrido, en términos relativos, de 1 a 4.

Los bloques resultan significativos, en general. Se exceptúan las localidades de Riofrío y Miravete, respecto del policiclismo y Espinoso y Miravete respecto de la supervivencia. Parece que hay una mayor sensibilidad de las procedencias al terreno en su respuesta en el crecimiento en altura o diámetro que en la super-

**TABLA 4**  
**ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LOS ENSAYOS INDIVIDUALES**  
*Anova for each site*

Localidad	Origen	gl	Supervivencia			Policiclismo			Altura			Diámetro			Volumen		
			CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P	CM	F	P
Acebo	Bloque	3	0,184	3,62	0,02	0,401	2,67	0,05	4,71	4,62	0,01	13,06	3,79	0,01	0,377	5,39	0,00
	Procedencia	51	0,059	1,16	0,26	0,247	1,65	0,02	2,76	2,71	0,00	5,51	1,60	0,02	0,133	1,90	0,00
	Residual	108	0,051			0,150			1,02			3,45			0,070		
Cabañeros	Bloque	3	0,115	3,80	0,01	0,303	4,74	0,00	27,20	22,80	0,00	31,85	9,37	0,00	1,743	15,56	0,00
	Procedencia	50	0,125	4,13	0,00	0,347	5,41	0,00	2,30	1,93	0,00	11,10	3,26	0,00	0,299	2,67	0,00
	Residual	143	0,030			0,064			1,19			3,40			0,112		
Espinoso	Bloque	3	0,071	1,39	0,25	0,186	2,75	0,02	5,68	5,62	0,01	18,83	4,13	0,01	0,967	4,16	0,01
	Procedencia	44	0,084	1,65	0,02	0,269	3,99	0,00	1,26	1,25	0,17	10,03	2,20	0,00	0,375	1,61	0,02
	Residual	132	0,051			0,068			1,01			4,56			0,232		
Miravete	Bloque	3	0,080	1,74	0,16	0,089	2,47	0,06	5,53	4,63	0,00	12,19	3,99	0,01	0,500	4,83	0,00
	Procedencia	51	0,094	2,04	0,00	0,094	2,42	0,00	2,41	2,02	0,00	8,48	2,78	0,00	0,262	2,53	0,00
	Residual	153	0,051			0,039			1,19			3,06			0,104		
Riofrío	Bloque	3	0,247	5,49	0,00	0,130	1,74	0,16	16,22	21,34	0,00	19,16	8,37	0,00	1,313	12,69	0,00
	Procedencia	49	0,103	2,29	0,00	0,261	3,51	0,00	1,53	2,01	0,00	6,91	3,02	0,00	0,252	2,47	0,00
	Residual	157	0,045			0,074			0,76			2,29			0,102		

Resumen de los valores F (entre paréntesis el percentil superior cuando supera a 0,01)

Localidad	Supervivencia	Policiclismo	Altura	Diámetro	Log (Volumen)
Acebo	1,16 (0,26)	1,65 (0,02)	2,71	1,60	1,90
Cabañeros	4,13	5,41	1,93	3,26	2,67
Espinoso	1,65 (0,02)	3,99	1,25 (0,17)	2,20	1,61 (0,02)
Miravete	2,04	2,42	2,02	2,78	2,53
Riofrío	2,29	3,51	20,1	3,02	2,47

vivencia y policiclismo. El nivel de significación fue con frecuencia inferior al 1 p.100, lo que muestra la eficacia del diseño en la reducción de la influencia de la heterogeneidad local sobre el error experimental. Esta eficiencia se representa en la Figura 3. Expresada en porcentaje, tiene un recorrido de 100 a 145 p.100, con mediana igual a 108 p.100. Los mayores valores de la eficiencia se dan en la variable altura y se alcanzan en Cabañeros y Riofrío. Un análisis realizado sobre los datos de Miravete con eliminación de heterogeneidad en una segunda dirección, es decir como un diseño en filas y columnas, sugirió una ganancia adicional todavía más importante, Sin embargo, el ensayo no había sido aleatorizado como tal diseño, por lo que preferimos renunciar a esta posible ganancia en favor de la fiabilidad asegurada por la teoría de la aleatorización.

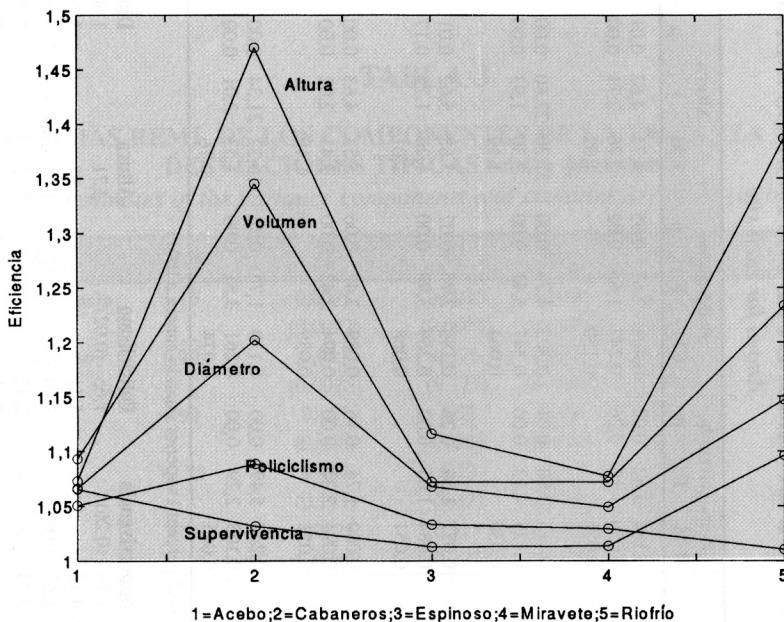


Fig. 3.- Eficiencia de los bloques en cada parcela de ensayo para los cinco caracteres analizados  
*Block efficiency in each site for the analysed variables*

Las procedencias resultaron significativas al 1 p. 100. Se exceptúa el ensayo de Espinoso en que las medias en altura y volumen no resultan significativamente distintas al 5 p. 100 y la supervivencia no lo es al 1 p. 100 pero sí al 5 p. 100. Tampoco hay diferencias significativas en Acebo, respecto a la supervivencia.

Si bien se admite que el desarrollo en altura se ve poco influido por la densidad de la masa, no ocurre igual con el diámetro y el volumen, que se esperan rela-

cionados negativamente con la densidad. Un análisis de covarianza del volumen usando como covariable  $x$  el número de árboles de la parcela mostró que en cuatro de las cinco localidades el efecto global de regresión, promedio para todas las procedencias, resulta significativamente positivo. Esto sugiere que pudiera dominar un efecto local de fertilidad, particularmente cuando el estado de desarrollo es demasiado temprano para que se dejen sentir suficientemente efectos de competencia. También hay que unir este efecto al hecho de que las procedencias mejor adaptadas tienen menor mortalidad y mayor vigor. Aparecieron, además, diferencias significativas entre las pendientes  $\beta_i$  para las distintas procedencias, bajo el modelo  $y_{ij} = \mu_i + \beta_i x_{ij} + e_{ij}$ . Con estos resultados, de difícil interpretación, no se consideró conveniente el uso de la densidad como covariable, ante una posible reducción excesiva e injustificada de la variabilidad.

#### Análisis combinado de los ensayos

El examen de la Tabla 3 permite concluir que el pino negral tiene una variabilidad genética  $\sigma^2_V$ , relativa al error, pequeña para todas las variables, excepto, quizás, para el policiclismo en que es igual a 0,4. Se observa una distribución de la variabilidad muy distinta en la supervivencia respecto al resto de las variables, por el valor reducido de la componente ambiental debida a localidades, que es aproximadamente la mitad de la genética y del mismo orden que  $\sigma^2_{VL}$ . En el resto de las variables oscila entre 5 y 30 veces  $\sigma^2_V$ . La variabilidad total en supervivencia y policiclismo relativa a su varianza genética es muy inferior a la del resto de las variables.

El valor reducido de la componente relativa de la varianza genética sugiere que si el factor Procedencia se considerase aleatorio el recorrido de las predicciones de sus efectos sufriría un acortamiento notable. Este acortamiento se produce en menor medida para el factor Localidades pues su componente relativa es próxima o superior a 1.

Las componentes  $\sigma^2_L$  y  $\sigma^2_B$  son, sin embargo, de menor interés pues no intervienen en el cálculo de la varianza fenotípica al afectar Localidades y Bloques por igual a todas las procedencias.

La heredabilidad, expresada como la proporción de la varianza genética respecto a la fenotípica observada, en el caso de cuatro réplicas y cinco localidades es superior a 0,5 para todas las variables, alcanzando 0,8 para el policiclismo. Si el mismo número de 20 parcelas por procedencia se distribuyese en 10 localidades y dos repeticiones, se conseguiría que las heredabilidades fueran todas superiores a 0,6.

La Tabla 5 expone para cada procedencia las medias  $\hat{\mu} + \hat{\alpha}_i^V$  de cada variable. Para las variables transformadas se presenta su valor en la escala original.

El análisis de varianza de HOMH y HOMD según el mismo modelo (MA) mostró diferencias muy significativas entre las procedencias. Ambas variables aparecen correladas negativamente con la altura y el diámetro (Figs. 4a, 4b) y

TABLA 5

MEDIAS ESTIMADAS SEGUN (MA) EN EL CONJUNTO DE LOCALIDADES

*Mean estimates after (MA) for the sites*

Proc.	Superv.	Pollc. (m)	Altura (cm)	Díámetro (dm <sup>2</sup> )	Volumen
AB1	0,928	0,82	6,64	13,85	49,96
AB2	0,947	0,91	7,42	14,97	60,99
AV1	0,933	1,31	7,75	15,31	65,46
AV2	0,849	0,88	6,98	13,53	47,47
BU1	0,870	1,16	6,54	13,40	43,03
BU2	0,884	1,29	6,84	14,32	50,18
CS1	0,862	1,17	6,77	12,90	41,05
CS2	0,786	1,31	5,98	13,08	40,19
C	0,696	0,57	7,35	12,41	41,28
CU1	0,899	1,28	7,26	14,43	54,52
CU2	0,932	1,18	7,20	13,84	50,74
CU3	0,849	0,95	7,09	14,05	51,67
CU4	0,852	1,12	6,94	13,46	46,65
CU5	0,916	1,21	7,22	13,91	52,26
CU6	0,831	0,88	7,00	13,47	48,12
GR1	0,803	0,88	6,42	14,33	50,21
GU	0,901	1,31	7,03	13,04	43,59
HU	0,737	0,60	7,09	12,55	40,67
J1	0,879	1,04	6,93	14,85	54,85
J2	0,833	0,84	6,69	14,08	49,41
LE	0,882	2,53	6,62	13,43	44,41
LU	0,687	0,50	6,81	11,36	33,80
MA	0,838	0,79	6,47	13,38	43,85
O	0,672	0,47	7,55	13,10	47,28
OR1	0,726	0,45	7,68	13,42	50,18
OR2	0,703	0,56	7,24	12,47	40,36
PO1	0,720	0,63	7,42	13,19	46,88
PO2	0,708	0,46	7,31	12,17	39,24
SG1	0,802	0,80	6,80	14,02	49,06
SG2	0,857	1,21	7,02	13,59	48,27
SG3	0,793	0,84	6,68	14,15	50,56
SO1	0,910	1,30	7,65	14,79	60,24
SO2	0,840	1,14	6,53	13,49	43,28
TE	0,851	0,78	6,61	13,85	48,98
V1	0,855	0,72	6,73	13,28	45,11
V2	0,865	0,87	6,68	14,24	49,63
VA1	0,859	0,84	6,62	14,00	49,13
VA2	0,841	1,03	6,98	13,78	50,19
VA3	0,825	1,04	6,91	13,49	47,66
VA4	0,812	0,80	6,77	13,47	45,15
IT	0,866	1,95	6,74	12,53	39,64
FR1	0,784	1,20	7,42	12,27	43,28
FR2	0,794	0,85	6,58	12,44	40,36
FR3	0,729	0,96	6,36	12,48	39,45
MR1	0,851	1,86	6,02	12,03	34,78
MR2	0,758	1,55	6,00	12,17	35,76
PT1	0,684	0,44	8,03	13,76	55,75
PT2	0,755	0,45	7,32	12,59	42,36
MU1	0,937	0,87	6,99	14,32	51,53
MU2	0,925	1,20	7,28	15,28	60,17
CR	0,881	1,42	7,88	14,61	60,37
GR2	0,920	1,40	8,23	15,23	68,51

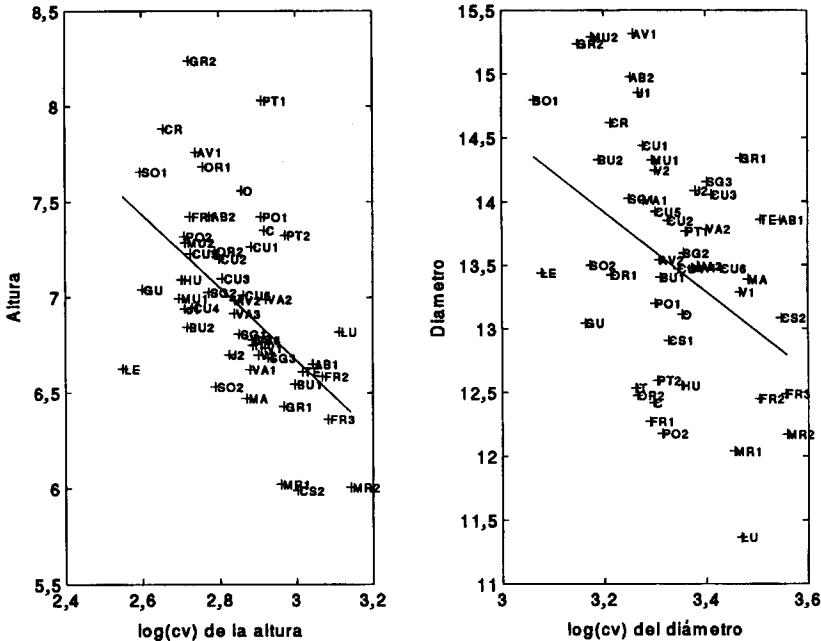


Fig. 4.- Representación de las procedencias según su uniformidad en altura y diámetro  
*Graph of height and diameter uniformity of the provenances*

están, por otra parte, fuertemente correladas entre sí ( $\rho=0,8$ ). Las procedencias con mayor desarrollo, como GR2, AV1 o SO1, aparecen como las más uniformes en la expresión de los caracteres considerados. Las procedencias extranjeras muestran la menor uniformidad en el crecimiento en altura, especialmente, con las excepciones de FR1 y PT1.

Comparación de los efectos principales

En la Tabla 6 se incluyen las desviaciones típicas de las diferencias o contrastes simples entre medias de procedencias. A estas estimas se atribuyen  $[(I-1)(J-1)]=204$  grados de libertad.

Los gráficos de significatividad o interferencia de los efectos de las procedencias al nivel  $\alpha=5$  p. 100 se muestran en la Figura 5, en la que aparecen ordenadas las procedencias sobre el eje de abscisas según el valor de su efecto principal, que se representa como ordenada.

La comparación de las supervivencias revela que los mejores resultados los obtuvieron las procedencias Bético-Levantinas y algunas castellanas como AV1, S01 y los peores las atlánticas. Estas procedencias se mostraron mal adaptadas en todas las localidades consideradas con excepción de Acebo. MR2 mostró la mayor inestabilidad pasando de la supervivencia más baja en Acebo a la más alta en Cabañeros.

La localidad de Riofrío, junto a Espinoso la que presenta una menor precipitación, tiene una supervivencia media significativamente inferior al promedio de las restantes, que difieren poco entre sí. Los factores ambientales que caracterizan estas localidades no parecen tener un gran efecto sobre la supervivencia media de las procedencias, excepto la existencia de un período de sequía más prolongado en estas dos localidades que supera los 2,5 meses.

La menor supervivencia de las procedencias atlánticas parece deberse, por tanto, a su mala adaptación a la existencia de sequía estival marcada (Guyon, Kremer, 1982; Nguyen, Lamant, 1989).

En policiclismo, de nuevo las procedencias atlánticas, sin excepción, muestran mala adaptación global. Las marroqufes, de manera más estable la italiana y, en particular, la de Tabuyo muestran una respuesta en policiclismo consistentemente superior a la media.

Este carácter está muy ligado a las condiciones climáticas del año, y a la capacidad de los genotipos de expresar un segundo ciclo (Kremer, 1981). La importancia del efecto localidad en este carácter parece indicar que algunas procedencias como las atlánticas no expresan un segundo ciclo de crecimiento cuando crecen en localidades donde las condiciones son poco favorables para ellas. El mayor nivel de policiclismo de procedencias como la de Tabuyo, de un crecimiento menor en altura, indica que este segundo ciclo es de muy pequeña importancia cuantitativa, pero no cualitativamente al estar ligado a la presencia de defectos de ramificación en estas procedencias.

Al considerar la altura la situación cambia mostrándose las atlánticas superiores, especialmente la de Leiría, aunque hay que incluir también a AV1, S01, CR y GR2, todas ellas muy estables y uniformes. Las procedencias marroqufes y CS2 se retrasan en el desarrollo respecto al resto apareciendo además como inestables y poco uniformes. Si aceptamos que la altura determina la calidad o productividad de la estación las localidades quedarían ordenadas por las predicciones  $\tilde{b}_{L_j}$ , con Acebo (10,38m), Miravete (7,4m), Cabañeros (7,0m), Riofrío (5,5m) y Espinoso (4,8m).

En general, el comportamiento medio de la especie en cada una de las localidades se puede asociar con su índice de productividad potencial forestal (Serrada, Gandullo, 1977), que ordena las localidades de igual forma a la obtenida, aunque las diferencias reales encontradas son mayores que las indicadas por este índice.

El examen de la representación del diámetro parecería indicar que aquellas procedencias que se desarrollan rápidamente en altura retrasan su desarrollo en diámetro. Así ocurre con las atlánticas, de las que se exceptuaría posiblemente

PT1. Sin embargo no ocurre lo mismo con algunas procedencias como CR, S01, AV1 y GR2 que, mostrando buen crecimiento en altura, también lo hacen en diámetro. Por otra parte, algunas procedencias, con mal crecimiento en altura, aparecen también con escaso desarrollo diamétrico. Se trata de las marroques, FR3 y CS2. Los orígenes atlánticos se ven muy influidos por el crecimiento en Riofrío y Espinoso, en los que su peor adaptación se manifiesta principalmente en el crecimiento en diámetro.

Las procedencias atlánticas, en general, demuestran su mayor crecimiento en altura, tal como han señalado diversos autores, en condiciones climáticas más benignas (Molina, 1965; Matziris, 1982). Sin embargo nos encontramos con diversas procedencias pertenecientes a zonas de media montaña que igualan a estas en su crecimiento en altura, y las superan en crecimiento en diámetro. Lo cual conduce a que presenten el mayor volumen unitario por árbol. Estas procedencias corresponden a los grupos que tienen la capacidad de regular su crecimiento en altura dependiendo de la disponibilidad de agua en el suelo (Guyon, Kremer, 1982; Nguyen, Lamant, 1989) y que alargan más su período de crecimiento en diámetro (Alfá, Gil, 1992).

El pino negral presenta un área de distribución muy fragmentada con condiciones ecológicas de las masas muy diferentes, que se manifiesta en las regiones de procedencia que se pueden diferenciar para la especie en España (Gil, Alfá 1989). Esto ocasiona que las pautas de variación de las procedencias no sean estrictamente geográficas, Procedencias muy próximas como AV1 y AV2 presentan características muy diferentes. La primera corresponde a un pinar de media montaña, mientras la segunda a un pinar de llanura. Sin embargo los resultados obtenidos en estas localidades coinciden aproximadamente con los de los ensayos descritos por Molina (1965) y Sweet, Thulin (1963), que son los que recogen un mayor número de procedencias, similar al de este estudio. El aislamiento de masas como las de León y BU1 da lugar a unas características muy específicas.

**TABLA 6**

**DESVIACION ESTANDAR DE LA DIFERENCIA ENTRE EFECTOS MEDIOS DE UNA PAR DE PROCEDENCIAS ESTIMADA SEGUN MA**  
*Standard deviation of the differences among mean effects of every two provenances estimated after (MA)*

Variables	Media	Desviación estándar	
		Mínima	Máxima
Supervivencia	0,086	0,082	0,118
N. Policiclos	0,117	0,111	0,161
Altura	0,409	0,387	0,560
Diámetro	0,854	0,813	1,176
Volumen	0,155	0,147	0,213

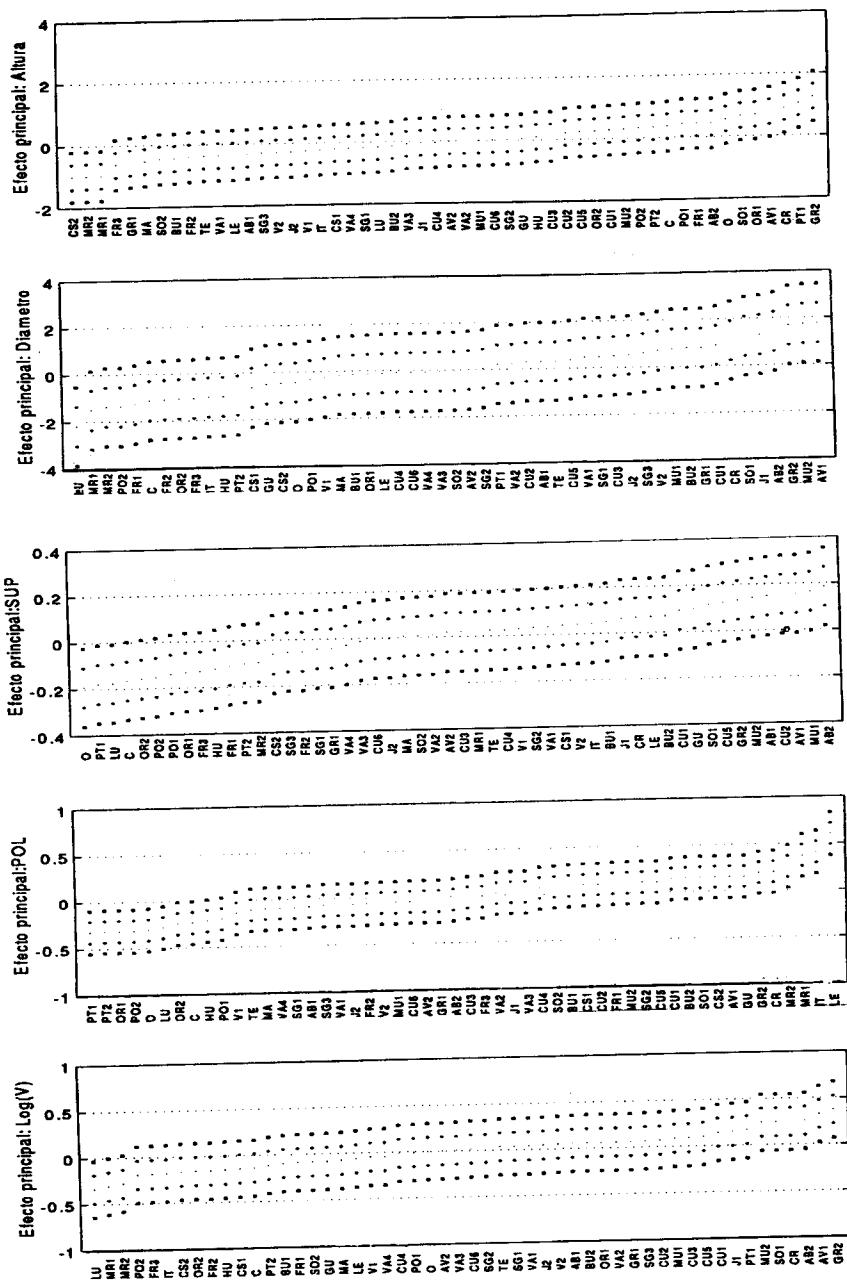


Fig. 5.- Gráficos de comparación de medias del efecto procedencia para los caracteres analizados  
*Graphs of comparisons of means of provenances for the traits analysed*

La comparación del volumen corrobora, como cabía esperar, el comentario respecto al diámetro, con S01, CR, AB2, AV1 y GR2 con los mayores volúmenes medios superando 60 dm<sup>3</sup> y las marroqués, LU y PO2 con alrededor de 35 dm<sup>3</sup>, los menores. Las procedencias marroqués muestran la mayor inestabilidad. Acebo tiene el mayor volumen predicho con 104 dm<sup>3</sup>, seguido por Miravete con 55,7 dm<sup>3</sup> y con escasa diferencia por Cabañeros con 53 dm<sup>3</sup>.

## CONCLUSIONES

El análisis realizado permite concluir que el factor bloque reduce la variabilidad residual de forma significativa, especialmente para las variables altura y diámetro, determinando una eficiencia mediana de los ensayos y todas las variables de 108 p. 100. La eliminación de la variabilidad en una segunda dirección ortogonal a los bloques apunta ganancias de eficiencia importantes en ensayos de estas características, que permitirían reducir el número de réplicas conservando la precisión de las comparaciones.

A la edad de 18 años no se evidencian efectos de competencia en las variables analizadas.

Las heredabilidades obtenidas para los caracteres analizados son superiores a 0,5. En el caso del policiclismo este valor es de 0,8. El factor localidad tiene una menor importancia en la expresión del policiclismo y la supervivencia que en los caracteres ligados al vigor como la altura, diámetro y volumen. Hay que destacar la importancia del componente debido a la interacción procedencia x localidad que apunta a la existencia de comportamientos diferenciales entre las procedencias, y que está siendo objeto de estudio.

El Pino negral manifiesta una notable variación genética entre sus poblaciones en caracteres de crecimiento y adaptación. Este comportamiento diferencial puede asociarse con el grupo geográfico de origen de la semilla. Las procedencias atlánticas tienen un mayor crecimiento en altura y diámetro con una tendencia baja al policiclismo, pero parecen estar peor adaptadas a las localidades que presentan un período seco prolongado. Las procedencias de media montaña, como AV1, S01 y CU, presentan unos resultados aceptables en el conjunto de las localidades, lo que permite su uso en condiciones mediterráneas. También es de destacar el crecimiento de la procedencia AB2, que muestra elevada uniformidad y estabilidad, gran supervivencia media y reducido policiclismo y, análogamente, los buenos comportamientos de CR y GR2, obtenidas de repoblaciones.

Entre las fuentes de semillas españolas, algunas ampliamente utilizadas en repoblaciones, como es el caso de las procedencias de la Meseta Castellana y de los montes del Teleno, manifiestan un crecimiento por debajo del promedio de todas las poblaciones estudiadas.

## AGRADECIMIENTOS

A D. Gabriel Catalán, que instaló las parcelas de ensayo que permitieron la realización de estos trabajos. A los Prfs. Drs. J. A. Pardos y L. Gil (ETSIM) por su ayuda durante la ejecución y preparación de las mediciones y a J. B. Denis por la revisión y sugerencias aportadas en la elaboración de este trabajo.

## SUMMARY

### Performance of *Pinus pinaster* Ait. provenances in Central Spain

This paper analyses the performance of 52 provenances of *Pinus pinaster* (44 Spanish, three french, two portuguese, two moroccan and one italian) planted in five sites in Central Spain. The design used is a randomized complete block design, with four blocks and 16 trees/plot. The traits measured and analysed at 18 years after planting were survival, total height, diameter, volume and frequency of polycyclism.

The heritabilities for all the traits were above 0.5. The site factor has a lower importance in polycyclism and survival than in the other traits. The component due to the provenance-site interaction stresses the existence of a differential performance among provenances.

*Pinus pinaster* displays a high genetic variation among provenances in all the traits analysed. The Atlantic provenances have the highest height and diameter growth with a low degree of polycyclism, but are poorly adapted to the sites with the longest dry period. Mountain provenances (AV1, S01, CU), have a good performance in all the five sites, as well as two artificial provenances (CR and GR2). Several artificial populations widely used for afforestation purposes in Spain (SG3, LE) display a poor height growth, below the mean of all the provenances analysed.

**KEY WORDS:** *Pinus pinaster*  
Provenances  
Genetic variation

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALIA R., GIL L., 1992. Ritmo anual de crecimiento en circunferencia de quince procedencias de *Pinus pinaster* Ait. Montes, 28: 34-36.
- BARADAT Ph., MARPEAU A., 1998. Le Pin maritime *Pinus pinaster* Ait. Biologie et génétique des terpènes pour la connaissance et l'amélioration de l'espèce. Thèse, Université Bordeaux.
- BELLEFONTAINE R., 1975. Resultats provisoires des essais d'amélioration génétique á Bou Safi (Larache). Ann. Rech. For. Mar. 15: 91-148.
- BOUVAREL P., 1960. Note sur la résistance au froid de quelques provenances de pin maritime. Rev. For. Franç., 12.
- GIL L., ALIA R., 1989. La mejora genética del *Pinus pinaster* en la España mediterránea. (No publicado).
- GUYON J.P., KREMER A., 1982. Stabilité phénotypique de la croissance en hauteur et cinétique journalière de la pression de séve et de la transpiration chez le pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.). Can. J. For. Res. 12: 936-946.
- HARRIS A., 1966. Introduction of *Pinus pinaster* in Western Australia. Second World Cong. on Forest Tree Breeding. FO/FTB, 64 9/10: 4.

- HOAGLIN D.C., MOSTELLER F., TUKEY J.W., 1991. Fundamentals of exploratory analysis of variance. Wiley, New York.
- ILLY G., 1966. Recherches sur l'amélioration génétique du Pin maritime. Ann. Sci. For. 23: 769-944.
- KREMER A., 1981. Déterminisme génétique de la croissance en hauteur du pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.). Comportement interannuel. Interaction génotype x année. Ann. Sci. For. 38(3): 331-335.
- MATZIRIS D. I., 1982. Variation in growth and quality characters in *Pinus pinaster* provenances grown at seven sites in Greece. Silv. Genet. 31(5/6): 168-173.
- MOLINA F., 1965. Comportamiento racial de *Pinus pinaster* en el Noroeste de España. An. Inst. For. Invest. Exper. 11: 232-238.
- NGUYEN A., LAMANT A., 1989. Variation in growth and osmotic regulation of roots of water stressed maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). Tree Physiology, 5: 123-133.
- RYCROFT H.B., WITCH C. L., 1947. Field trials of geographical races of *Pinus pinaster* in South Africa. Fifth British Emp. For. Conf. London.
- SARRAUSTE M., 1982. Photosynthèse, respiration et répartition de la matière sèche de jeunes plants de Pin maritime appartenant à 7 provenances et conduits selon 2 traitements hydriques. Mémoire de D.E.A. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- SWEET G. B., THULIN J. J., 1962. Provenances of *Pinus pinaster* Ait. A five year progress report on a trial at Wood-Hill (New Zeland). N. Z. J. For. 8: 570-586.