

EVALUACION DE LA RECTITUD DEL FUSTE EN SEIS PROCEDENCIAS DE *Pinus pinaster* Ait.

R. SIERRA DE GRADO

Dpto. Producción Vegetal y Silvopascicultura.
Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. 34071 Palencia

R. DIEZ-BARRA

R. ALIA MIRANDA

Dpto. Sistemas Forestales. C.I.T.-I.N.I.A. 28040 Madrid

RESUMEN

En este trabajo se evalúa la rectitud del fuste en seis procedencias españolas de *Pinus pinaster* Ait. mediante tres métodos: puntuación subjetiva dada por tres observadores distintos, tipo de curvatura presentada y método de la "curva equivalente" (a partir de las dimensiones de las curvaturas). La evaluación se realizó en dos parcelas de ensayo de procedencias, de 22 y 35 años de edad respectivamente, y para ello se consideró la altura del tronco dividida en tres partes. La parte basal del tronco ha resultado ser la que mayores y más frecuentes curvaturas presenta. Los tres métodos presentan alta correlación entre ellos a la hora de clasificar las procedencias, si bien difieren en la rapidez de la medición y en la información que puede obtenerse a partir de ellos. Las procedencias estudiadas muestran grandes diferencias en cuanto al carácter rectitud.

PALABRAS CLAVE: *Pinus pinaster*

Rectitud

Puntuación subjetiva

Dimensiones de la curvatura

Procedencias

INTRODUCCION

El término *forma del fuste* en especies arbóreas suele ser utilizado de manera genérica, cuando no ambigua, para referirse a características tan heterogéneas como la conicidad, la rectitud, la inclinación, la relación diámetro/altura, la presencia de determinados defectos como el ahorquillamiento o la abundancia de nudos, etc. Estas características están sujetas a la acción de distintos genes, y las influencias ambientales no les afectan de igual modo, por lo que si se pretende evaluar posibles diferencias de forma del fuste entre diversas poblaciones (procedencias, progenies, clones...), debe hacerse un esfuerzo por definir con precisión el carácter evaluado.

En nuestro caso, el foco de atención va a ser la rectitud del tronco, característica que afecta notablemente a distintos pasos del aprovechamiento maderero: el rendimiento en el

Recibido: 25-11-97

Aceptado para su publicación: 23-2-99

transporte y procesos de elaboración, la posibilidad de destinar a serrería los troncos con defectos de rectitud, la disminución de la calidad del producto acabado, ya sea chapa, tablón o pasta de papel, debido a que la aparición de curvaturas en el tronco fomenta la aparición de madera de reacción (Aldohus, 1986; Bailleres, 1991; Larguia, 1967). En el caso de la especie *Pinus pinaster*, su notable tendencia a presentar fustes sinuosos hace que dicho carácter tenga especial relevancia.

La importancia de la rectitud del tronco está ampliamente reconocida en el ámbito forestal, tanto científico como técnico. Sin embargo, el acuerdo dista de ser tan general en los métodos de evaluación. El método más comúnmente empleado se basa en otorgar una puntuación subjetiva al árbol, dentro de una escala arbitraria. Esta escala puede ser absoluta, correspondiendo cada puntuación a un rango de defectos dado (Williams y Lambeth, 1989), pero las más de las veces es relativa, determinándose los extremos del baremo por el árbol más recto y más torcido de la parcela en estudio (Alazard, 1979; Coterill, 1981; Coterill *et al.*, 1987; Crisan, 1977; Williams *et al.*, 1989).

Otros autores estiman frecuencias de determinados tipos de defectos (Embry y Gottfried, 1971; Barszcz, 1989; Pintaric, 1973) o atribuyen puntuaciones de acuerdo con el tipo o magnitud de los defectos (Miller *et al.*, 1978; Illy, 1966).

El siguiente paso consiste en métodos que implican mediciones: máxima desviación respecto a la vertical (Perry, 1960); longitud de la curvatura basal y altura del fuste afectada por la curvatura basal (Magini, 1969); máxima desviación de la vertical e inclinación de la parte basal del tronco, y número de curvaturas con sus respectivas desviaciones entre tres verticilos consecutivos (Crisan, 1977); inclinación y máxima desviación de la vertical en el tramo basal hasta 1,5 m de altura (Conche, 1978), etc. Shelbourne y Namkoong (1966) aplican técnicas fotogramétricas para medir la rectitud del tronco.

Los métodos basados en estimaciones subjetivas sobre una escala arbitraria presentan las ventajas obvias de simplicidad, rapidez de medición y economía. Por tanto, permiten evaluar un gran número de árboles. Como desventajas, hay que mencionar que la experiencia del observador influye en sus puntuaciones, y que es bastante inevitable realizar evaluaciones relativas a la parcela en que se está trabajando, de manera que el mismo árbol "regular" se considerará peor en una población de árboles bastante derechos que si crece entre árboles tortuosos. Por tanto, este tipo de métodos no permiten la comparación entre estudios realizados por distintos observadores, ni entre poblaciones que viven en distintas parcelas, especialmente si la variabilidad entre parcelas es grande (Williams y Lambeth, 1989).

Por el contrario, los métodos que implican mediciones suelen ser más precisos en la definición del carácter evaluado, y no dependen (o dependen en menor grado) de apreciaciones subjetivas), evitando la relatividad respecto a la población de estudio, pero, en general, llevan más tiempo y, consecuentemente, son más caros.

El objetivo del presente trabajo es comparar varios sistemas de evaluación de la rectitud del fuste de *Pinus pinaster*, para elaborar criterios aplicables a la evaluación y clasificación de las distintas poblaciones en los ensayos de procedencias de esta especie. Este estudio es parte del más amplio trabajo desarrollado en la Tesis Doctoral de la primera autora (1994).

MATERIAL Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en dos parcelas de ensayo de procedencias de *Pinus pinaster*: una situada en la finca de Cabañeros, término municipal de Retuerta del Bullaque (Ciudad

Real), establecida en 1967 y otra en el monte Tamarizos Nuevos (La Pedraja de Portillo, Valladolid), plantada en 1954. El diseño experimental en Cabañeros es de cuatro bloques completos al azar, donde cada una de las procedencias ocupa en cada bloque una parcela cuadrada de 4x4 árboles, separados entre sí 2,5 m en marco real. En La Pedraja de Portillo el diseño es de tres bloques completos al azar, estando las procedencias distribuidas en unidades experimentales de 7x7 árboles separados una distancia de 1,75 m, también en marco real.

Se analizaron seis procedencias en ambas parcelas. La Tabla 1 muestra las procedencias estudiadas (nomenclatura según Alía, 1989), las poblaciones donde se obtuvieron las semillas y el número de árboles medidos por procedencia en cada parcela. El tamaño muestral fue de 10 árboles por procedencia y bloque. La mortalidad en la parcela de La Pedraja de Portillo había sido muy grande, lo que implica un desequilibrio en el número de árboles medidos por unidad experimental. A pesar de ello, esta parcela presenta el interés de ser la más antigua de las instaladas en España para esta especie.

TABLA 1

PROCENDENCIA, LOCALIDAD FUENTE DE SEMILLA Y NUMERO TOTAL DE ARBOLES POR POBLACION (N) MEDIDOS EN CADA PARCELA DE ENSAYO DE PROCEDENCIAS

Provenance, seed source location and total number of trees per population (N) measured in each provenance test site

| Procedencia | Cabañeros | | La Pedraja de Portillo | |
|-----------------------------|--------------------|----|------------------------|----|
| | Fuente de semilla | N | Fuente de semilla | N |
| Sierra de Gredos | Arenas de S. Pedro | 40 | Arenas de S. Pedro | 21 |
| Oña | Oña | 40 | Cillaperlata | 16 |
| Serranía de Cuenca | Boniches | 40 | Boniches | 18 |
| Sierra de Teleno | Tabuyo | 40 | Astorga | 18 |
| Meseta Castellana | Coca | 39 | Cuéllar | 23 |
| Sierras de Cazorla y Segura | Yeste | 40 | Siles | 23 |

En cada árbol se midieron la altura total (H) y dos diámetros perpendiculares a la altura del pecho. El menor de estos dos diámetros es DMIN (diámetro mínimo). La parcela de Cabañeros contaba en el momento de la toma de datos con árboles de 22 años de edad, que habían alcanzado una altura media de 8,5 m, oscilando en las procedencias estudiadas entre 7,5 y 9.6 m, y con un diámetro mínimo entre 15,3 y 18,5 cm. En la parcela de La Pedraja de Portillo la edad era de 35 años y altura media de 11,5 m, variando en las mismas procedencias entre 10,3 y 13,2 m, y diámetro mínimo entre 14,3 y 36,2 cm.

Métodos de evaluación empleados

Hemos definido tres métodos de evaluación, con una progresiva menor carga de apreciación subjetiva:

1. Puntuación subjetiva

Tres observadores distintos calificaron en una escala de 0 (árbol perfectamente recto) a 10 (árbol más tortuoso) los árboles medidos en la parcela de Cabañeros.

2. Tipo de curvatura

Se han definido seis tipos de curvatura, detallados en la Figura 1, por combinación de dos criterios:

- a) Número de planos longitudinales en los que hay curvatura:
 - *No hay curvatura en ningún plano*: árbol totalmente recto.
 - *Curvatura en un plano*: existe curvatura en un plano cuando, una vez localizado el plano A en que se presenta la máxima desviación, el tronco parece recto en el plano B perpendicular a A.
 - *Curvatura en dos planos perpendiculares*: se detecta también una desviación en el plano B perpendicular al plano A.

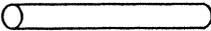
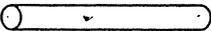
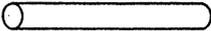
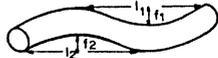
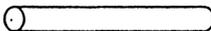
| TIPO DESCRIPCION | PLANO A | PLANO B |
|--|---|--|
| 0 No hay curvatura |  |  |
| 1 Curvatura simple en un plano |  |  |
| 2 Curvatura doble en un plano |  |  |
| 3 Curvatura simple en dos planos |  |  |
| 4 Curvatura doble en dos planos |  |  |
| 5 Curvatura simple en un plano y doble en otro |  |  |

Fig. 1.-Tipos de curvatura. El plano A es el plano longitudinal donde se localiza la máxima desviación, y el plano B es el plano longitudinal perpendicular al plano A
Types of curvature. Plane A is the longitudinal plane of maximum deflection, and plane B is the longitudinal plane perpendicular to A

- b) Número de curvaturas en cada plano:
- *Curvatura simple*: sólo puede definirse una desviación máxima respecto al eje del tronco.
 - *Curvatura doble*: pueden definirse dos desviaciones máximas, en sentidos opuestos respecto al eje.

La altura total del fuste se consideró dividida en tres partes y se tomó nota del tipo de curva existente en cada uno de los tercios. Este método se aplicó tanto en la parcela de Cabañeros como en la de La Pedraja de Portillo.

3. Método de la curva equivalente

En cada curvatura se definió la longitud del tramo curvado l_i y la máxima desviación respecto al eje del tronco f_i (Fig. 1). En el tercio inferior del fuste se midieron las longitudes y desviaciones de las curvas con ayuda de un jalón dividido en decímetros. En los tercios medio y superior del fuste, las longitudes fueron estimadas subjetivamente en clases de 0.5 m y las desviaciones en clases de 10 cm.

En cada tercio del fuste, a partir de las longitudes y desviaciones de las curvaturas presentes, se definió lo que hemos denominado *curva equivalente*, con su propia longitud L y desviación F , que se han calculado como sigue:

| TIPO DE CURVA | CURVA EQUIVALENTE | |
|---------------------------------------|-----------------------|--|
| 1. Simple en un plano | $F = f_1$ | $L = l_1$ |
| 2. Doble en un plano | $F = f_1 + f_2$ | $L = l_1 + l_2$ |
| 3. Simple en dos planos | $F = f_1 + f_2$ | $L = \text{Max}(l_1, l_2)$ |
| 4. Doble en dos planos | $F = \text{Sum } f_i$ | $L = \text{Max}(l_1 + l_2, l_3 + l_4)$ |
| 5. Simple en un plano y doble en otro | $F = \text{Sum } f_i$ | $L = \text{Max}(l_1, l_2 + l_3)$ |

A partir de esos valores se han definido los siguientes índices:

P1: Porcentaje de la longitud de la curva equivalente que supone la desviación F.

$$P1=100F/L$$

P2: Porcentaje del diámetro mínimo a 1,30 m que supone la desviación F.

$$P2=100F/D_{\text{min}}$$

P3: Porcentaje de la longitud de la troza (tercio del fuste) que está curvada.

$$P3=100L/(H_{\text{tot}}/3)$$

Análisis numérico

En la parcela de Cabañeros, el análisis de F, L, P1, P2 y P3 se ha llevado a cabo a través de un análisis de varianza factorial, siendo la procedencia y el bloque las fuentes de

variación, y teniendo en cuenta la interacción entre ambas. En La Pedraja de Portillo, debido al desequilibrio de los datos, el efecto del bloque fue estudiado por separado. En este caso, el efecto del bloque no fue estadísticamente significativo para ninguna de las variables, por lo que ha sido eliminado del modelo.

Se ha utilizado el método de Spearman de correlación de rangos para calcular los coeficientes de correlación entre las variables obtenidas en cada método.

RESULTADOS

Información obtenida a partir de los distintos métodos

Puntuación subjetiva

Hay una gran concordancia entre las puntuaciones dadas por diferentes observadores (coeficientes de correlación entre 0,79 y 0,84). Atendiendo al valor medio de las puntuaciones dadas a los árboles de cada procedencia por los diferentes observadores, puede verse que los tres clasifican las seis procedencias en el mismo orden (Fig. 2). Según estos valores medios, pueden distinguirse dos grupos de procedencias: el formado por la Sierra de Gredos, Serranía de Cuenca y Sierras de Segura y Cazorla, con puntuaciones medias bajas, es decir, con fustes bastante derechos, y el resto de las procedencias, en que las puntuaciones medias superan el valor 3,5.

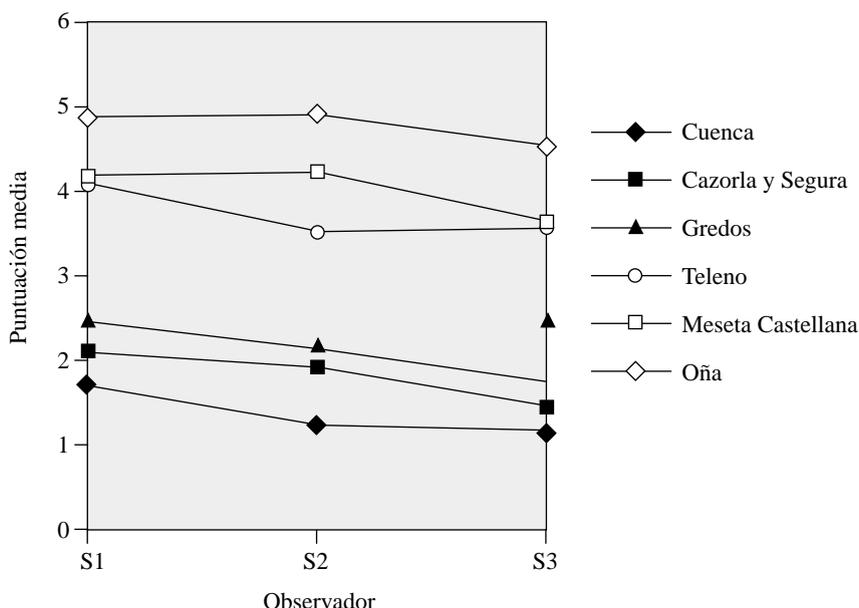


Fig. 2.—Clasificación de las procedencias según las puntuaciones dadas por tres observadores
Provenance ranking according to mean punctuation given by three observers

Tipo de curvatura

En el conjunto de las seis procedencias analizadas, las frecuencias de los tipos de curva presentan distribuciones notablemente diferentes en los distintos tercios del fuste (Fig. 3). Este resultado se repite en las dos parcelas de estudio.

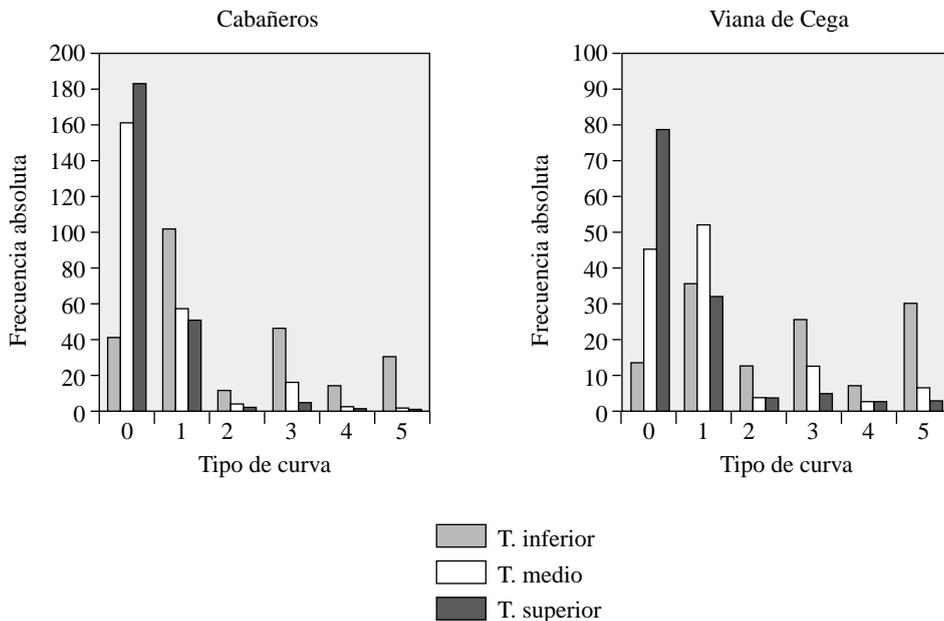


Fig. 3.—Frecuencias del tipo de curvatura en los tercios inferior, medio y superior tronco en el conjunto de las seis procedencias

Type of curvature frequencies for bottom, medium and upper sections of the bole, for the six provenances in each site

El porcentaje de árboles totalmente rectos (curva tipo 0) en el conjunto de la población es mayor en la parcela de Cabañeros que en la de La Pedraja de Portillo, siendo la frecuencia relativa de curvas tipo 0 en el tercio inferior del fuste el 17, 67 % en el tercio central y 76 % en el tercio superior en Cabañeros y del 10, 37 y 65 % respectivamente en La Pedraja de Portillo. Correspondientemente, la presencia de curvaturas (tipos 1 a 5) es más frecuente en el tercio basal del fuste, decreciendo esta frecuencia en el tercio medio y siendo menor aún en el tercio superior. Además, los árboles que son rectos en su parte basal son rectos en las partes central y superior más frecuentemente que los que presentan alguna curvatura en el tercio basal (Tabla 2).

Dado que es el tercio inferior del fuste es el que presenta curvaturas con mayor frecuencia, sumado a que la aparición de curvaturas en él aumenta la probabilidad de encontrarlas también en los tercios superiores y, sobre todo, que se trata de la porción de mayor valor económico, el estudio de las diferencias entre procedencias se centrará en su análisis prescindiendo de los tercios superiores.

TABLA 2

PORCENTAJE DE ARBOLES QUE, SIENDO RECTOS EN EL TERCIO BASAL DEL TRONCO (C1 = 0), SON TAMBIEN RECTOS EN EL TERCIO MEDIO (C2 = 0) Y EN EL TERCIO SUPERIOR (C3 = 0), Y VICEVERSA

Percentage of trees that being straight in basal part of the bole (C1 = 0), are also straight in the central part (C2 = 0) and in the upper part (C3 = 0), and viceversa

| Cabañeros | | | | | La Pedraja de Portillo | | | | |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| C1 = 0 (N = 41) | C2 = 0 83% | C2 > 0 17% | C3 = 0 95% | C3 > 0 5% | C1 = 0 (N = 13) | C2 = 0 77% | C2 > 0 33% | C3 = 0 69% | C3 > 0 31% |
| C1 > 0 (N = 198) | C2 = 0 65% | C2 > 0 35% | C3 = 0 72% | C3 > 0 28% | C1 > 0 (N = 106) | C2 = 0 31% | C2 > 0 69% | C3 = 0 62% | C3 > 0 38% |

C1, C2, C3: tipo de curvatura en el tercio basal, medio y superior del fuste. Si C1=0, no hay curvatura en el tercio basal, si C1 > 0, hay curvatura de tipo 1, 2, 3, 4 ó 5, etc. N: número de árboles.

C1, C2, C3: type of curvature in the basal, central and upper part of the bole. If C1 = 0, there is no curvature in the basal part, if C1 > 0, there is curvature of type 1, 2, 3, 4 or 5, etc. N: number of trees.

Diferencias entre procedencias

Se aprecian diferencias importantes entre el grupo de procedencias formado por Gredos, Cuenca y Segura y el formado por Oña, S^a del Teleno y Meseta Castellana, tanto en la parcela de Cabañeros como en la de La Pedraja de Portillo, si bien en esta última las diferencias son menores. En la Figura 4 se han reflejado las frecuencias acumuladas de los tipos de curva del tercio inferior del fuste en las distintas procedencias, observándose que las tres primeras procedencias se mantienen por encima de las segundas, debido a la presencia de mayores porcentajes de troncos sin curvas (tipo 0) o con curvas simples en un plano (tipo 1).

En Cabañeros, el porcentaje de árboles completamente rectos en el tercio inferior del fuste oscila entre el 22 y el 37 % en el primer grupo de procedencias, mientras que en las otras tres no supera en 5 %. En la parcela de La Pedraja de Portillo ninguna procedencia supera el 20 % de árboles rectos en su tercio basal, pero aumenta notablemente respecto a la parcela de Cabañeros el porcentaje de árboles sin curvatura en la procedencia de la Meseta Castellana (18 %) y desciende en la de Cuenca (0 %). Cabe resaltar que el valor máximo del porcentaje de árboles rectos, presentado por la mejor procedencia en este sentido y en la parcela donde mejor se comporta, es únicamente el 37 %.

Con respecto a la frecuencia de aparición de los distintos tipos de curvaturas definidos, puede decirse que las mejores procedencias son Gredos, Cuenca y Segura frente a Oña, S^a del Teleno y Meseta Castellana, manteniéndose estos grupos en las dos parcelas estudiadas.

De lo anteriormente expuesto se deduce, en cuanto a la frecuencia de aparición de los distintos tipos de curvatura, que existe una fuerte influencia de la procedencia de la semilla, y también un efecto, aunque menor, de la parcela de ensayo.

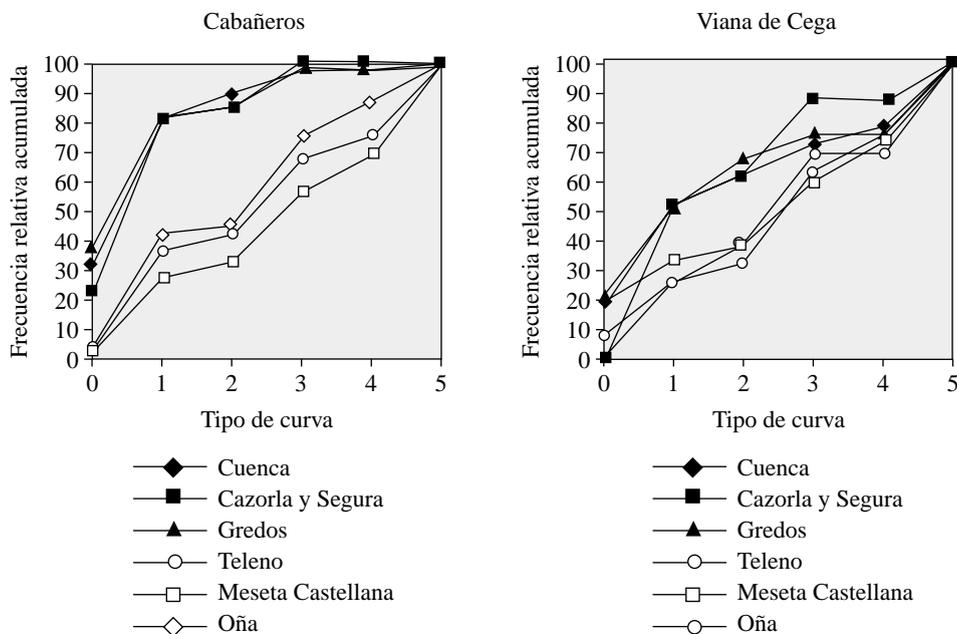


Fig. 4.—Frecuencias relativas acumuladas del tipo de curva en el tercio basal del tronco en cada procedencia
Cumulative relative frequencies of type of curvature in the basal section of the stem in each provenance

Método de la curva equivalente

Dimensiones de las curvaturas en los distintos tercios del fuste

La longitud L y desviación F de la curva equivalente son diferentes en cada tercio del fuste con una alta significación, en ambas parcelas de ensayo (Tabla 3). Tanto la longitud como la desviación son mayores en el tercio inferior del fuste, y disminuyen hacia el extremo superior (Fig. 5). Este resultado, unido al ya expuesto sobre la mayor frecuencia de curvaturas en el tercio inferior, corrobora la importancia de la rectitud en el tercio inferior, por lo que el resto del estudio se centrará en dicha porción del fuste.

TABLA 3

RESUMEN DE ANALISIS DE LA VARIANZA DE LAS VARIABLES LONGITUD Y DESVIACION DE LA CURVA EQUIVALENTE EN LOS DISTINTOS TERCIOS DEL FUSTE

Summary of the ANOVA of length and deviation of the equivalent curvature in the three different sections of the bole

| Cabañeros | | L | | F | |
|------------------------|------|-------------|------|-----------|------|
| F. variación | G.L. | C.M. | C.M. | C.M. | C.M. |
| Entre tercios | 2 | 458880,0*** | | 4988,8*** | |
| Dentro de tercios | 714 | 6603,6 | | 56,3 | |
| La Pedraja de Portillo | | L | | F | |
| F. variación | G.L. | C.M. | C.M. | C.M. | C.M. |
| Entre tercios | 2 | 523227,0*** | | 4716,2*** | |
| Dentro de tercios | 354 | 12844,8 | | 135,6 | |

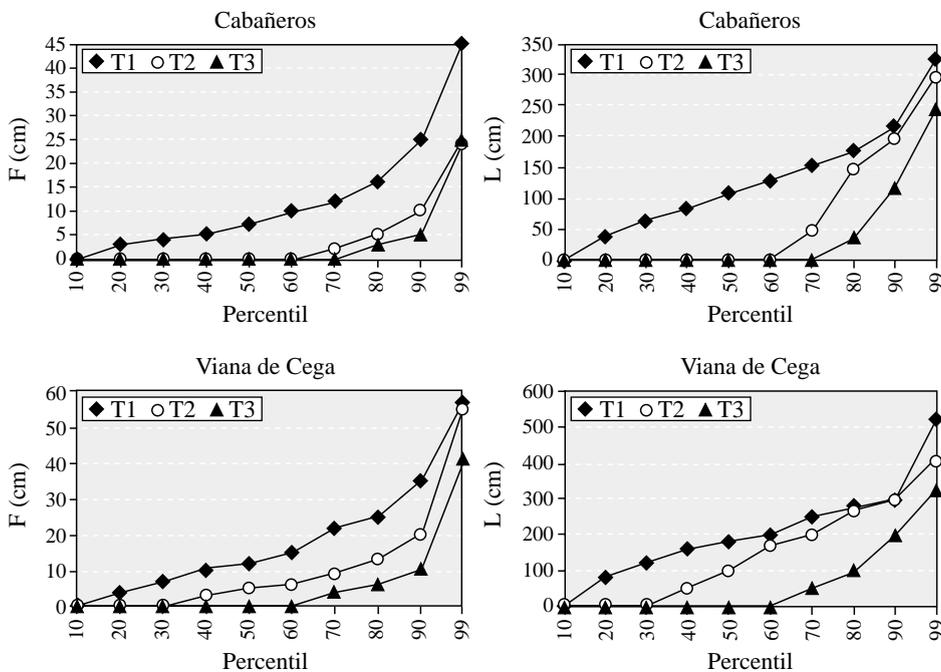


Fig. 5.–Percentiles de las longitudes (L) y desviaciones (F) medias de la curva equivalente en los distintos tercios del fuste

Percentiles of the length (L) and deviation (F) of the equivalent curvature in the different sections of the stem

Diferencias entre procedencias

En la Tabla 4 se presentan descriptores estadísticos de los índices calculados, así como de las longitudes y desviaciones de las curvas equivalentes en el tercio inferior del fuste. Por referirse únicamente a este tramo, la altura considerada es la altura total dividida entre tres, y la curva equivalente está calculada en función de las curvaturas presentes en esta porción basal.

TABLA 4
DESCRIPTORES ESTADISTICOS DE LA LONGITUD (L), DESVIACION (F)
E INDICES P1 = 100F/L, P2 = 100F/D_{MIN} Y P3 = 100L/(HTOT/3) DE LA CURVA
EQUIVALENTE EN EL TERCIO INFERIOR DEL TRONCO, EN LAS PARCELAS
DE CABAÑEROS Y LA PEDRAJA DE PORTILLO

Descriptive values of length (L), deflection (F) and variables P1 = 100F/L, P2 = 100F/D_{min} and P3 = 100L/(H_{tot}/3) of the equivalent curvature in the basal part of the stem, at Cabañeros and La Pedraja de Portillo

| Cabañeros | | | | | |
|------------------------|-------|------|-----|------|------|
| | L | F | P1 | P2 | P3 |
| Media | 113,1 | 10,1 | 7,7 | 68,7 | 9,6 |
| Desv. Tip. | 81,4 | 10,3 | 6,7 | 79,7 | 21,2 |
| Error | 5,2 | 0,6 | 0,4 | 5,1 | 1,3 |
| Mínimo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Máximo | 400 | 65 | 41 | 508 | 206 |
| La Pedraja de Portillo | | | | | |
| | L | F | P1 | P2 | P3 |
| Media | 186,2 | 16,1 | 8,0 | 65,5 | 7,5 |
| Desv. Tip. | 119,4 | 14,3 | 5,6 | 60,5 | 10,3 |
| Error | 10,9 | 1,3 | 0,5 | 5,5 | 0,9 |
| Mínimo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Máximo | 550 | 65 | 24 | 301 | 50 |

El efecto del factor procedencia es altamente significativo en la parcela de Cabañeros para todos los índices, como puede verse en la Tabla 5. En La Pedraja de Portillo, el factor procedencia únicamente es significativo para el índice P3.

TABLA 5
RESUMEN DEL ANALISIS DE LA VARIANZA DE L, F, P1, P2 Y P3
EN EL TERCIO INFERIOR DEL FUSTE, EN LAS PARCELAS DE CABAÑEROS
Y LA PEDRAJA DE PORTILLO

*Summary of the ANOVA of L, F, P1, P2 y P3 of the bottom section of the bole,
at Cabañeros and La Pedraja de Portillo*

| | | Cabañeros | | | | |
|--------------------|-----|------------------|------------|------------|--------------|----------------|
| | | L | F | P1 | P2 | P3 |
| Fuente | GL | CM | CM | CM | CM | CM |
| Procedencia | 5 | 40255,29*** | 1047,13*** | 461,72*** | 56817,61*** | 90441030,0*** |
| Bloque | 3 | 1408,77 n.s. | 52,42 n.s. | 144,94* | 6948,75 n.s. | 7199412,0 n.s. |
| Interacción | 15 | 3612,77 n.s. | 77,99 n.s. | 43,12 n.s. | 5235,96 n.s. | 4666481,4 n.s. |
| Error | 216 | 6139,558 | 89,04 | 33,56 | 5222,86 | 8032158,5 |

| | | La Pedraja de Portillo | | | | |
|--------------------|-----|-------------------------------|------------|-----------|-------------|-----------|
| | | L | F | P1 | P2 | P3 |
| Fuente | GL | CM | CM | CM | CM | CM |
| Procedencia | 5 | 29554,4 | 269,8 n.s. | 50,4 n.s. | 5760,9 n.s. | 3416,1** |
| Bloque | 113 | 13595,5 | 201,9 | 31,4 | 3572,1 | 934,9 |

Relaciones entre los distintos métodos

El orden en que cada uno de los métodos clasifica las distintas procedencias en ambas parcelas queda reflejado en la Tabla 6. El acuerdo en señalar las procedencias Cuenca, Cazorra y Gredos como las de fuste más derecho frente a las otras tres es unánime, si bien dentro de estos dos grupos el orden de las procedencias varía ligeramente de un método a otro.

La media de las evaluaciones subjetivas S presenta las mayores correlaciones con las variables P2 y F (Tabla 7). De los valores de los coeficientes de correlación se desprende que la desviación F tiene mayor importancia que la longitud L en la apreciación subjetiva de la rectitud. F y P2 son también las variables más correlacionadas con el tipo de curva.

DISCUSION

En la parcela de Cabañeros se comprobó la existencia de diferencias significativas entre dos grupos de procedencias. Así, las procedencias de Gredos, Cuenca y Segura forman el grupo con fustes más rectos, mientras que S^a del Teleno, Oña y Meseta Castellana pertenecen al grupo con formas más torcidas. Al comparar con la parcela de La Pedraja de Portillo, las diferencias se hacen menores, pero se mantiene el orden anterior, con la excepción de dos procedencias, Cuenca y Meseta Castellana, que alteran su posición dentro de ese orden.

TABLA 6

ORDEN DE CLASIFICACION DE LAS PROCEDENCIAS DE MAYOR A MENOR RECTITUD SEGUN LOS DISTINTOS METODOS, EN LAS PARCELAS DE CABAÑEROS Y LA PEDRAJA DE PORTILLO

Provenance ranking, from the best to the poorest straightness, at Cabañeros and La Pedraja de Portillo

| Subj. | Cabañeros | | | | | | La Pedraja de Portillo | | | | | |
|-------|-----------|---|---|----|----|----|------------------------|---|---|----|----|----|
| | TC | L | F | P1 | P2 | P3 | TC | L | F | P1 | P2 | P3 |
| C | C | C | C | G | C | C | G | G | C | G | S | C |
| S | G | G | G | C | G | G | S | S | G | S | G | G |
| G | S | S | S | S | S | S | C | C | S | T | C | S |
| T | O | T | T | T | T | T | M | M | M | M | M | M |
| M | T | M | O | O | O | M | O | O | O | O | O | O |
| O | M | O | M | M | M | O | T | T | T | C | T | T |

C: Serranía de Cuenca. G: Sierra de Gredos. S: Sierras de Cazorla y Segura. M: Meseta Castellana. T: Sierra de Teleno. O: Oña.

TABLA 7

MATRIZ DE CORRELACION SEGUN EL METODO DE SPEARMAN ENTRE LAS VARIABLES DE LOS DIFERENTES METODOS DE EVALUACION EN LA PARCELA DE CABAÑEROS (N = 239, P > 99%)

Correlation matrix (Spearman's method) between variables from different evaluation methods from Cabañeros (N = 239, P > 99%)

| | S | TC | L | F | P1 | P2 | P3 |
|----|------|------|------|------|------|------|----|
| S | 1 | | | | | | |
| TC | 0,62 | 1 | | | | | |
| L | 0,50 | 0,65 | 1 | | | | |
| F | 0,70 | 0,84 | 0,77 | 1 | | | |
| P1 | 0,63 | 0,74 | 0,37 | 0,83 | 1 | | |
| P2 | 0,74 | 0,85 | 0,71 | 0,97 | 0,85 | 1 | |
| P3 | 0,62 | 0,71 | 0,95 | 0,81 | 0,46 | 0,80 | 1 |

Dado que en cada una de las parcelas la semilla de una procedencia dada se ha podido recolectar en diferentes lugares de la región, la alteración mencionada en el orden de las procedencias dentro de cada parcela se podría interpretar como una posible coexistencia de poblaciones diferentes dentro de la misma región de procedencia, a pesar de su relativa proximidad, como es el caso de las poblaciones de Cuéllar y Coca dentro de la región Meseta Castellana. Resultados equivalentes se han obtenido en estudios de procedencias de *P. sylvestris* (Giertrych, 1991) y de *P. pinaster* (Alfá, 1989). Otro factor implicado puede ser el año de la recolección, que tampoco coincide.

Las evaluaciones subjetivas realizadas por diferentes observadores han mostrado gran acuerdo entre ellos. El orden otorgado a las procedencias en función de las puntuaciones subjetivas guarda una correspondencia bastante aceptable con el orden en función de los otros métodos, lo que probablemente se haya afinado al definir el carácter como *rectitud* en lugar de una más genérica *forma*. Además, la evaluación subjetiva es el método más rápido. Por tanto, este método parece adecuado para la selección de los mejores árboles o procedencias. No obstante, pueden aparecer algunas dificultades en estudios algo más complejos, en los que haya que comparar árboles que crecen en diferentes lugares, como en el caso de una red de ensayo de procedencias, donde, además, la variabilidad existente es grande. En estos casos la desviación F parece ser una alternativa que reúne las ventajas de mayor objetividad y ser una variable cuantitativa, si bien estudios con variables parecidas han mostrado heredabilidades bajas: por ejemplo, Conche (1978) obtiene una heredabilidad de 0,1 para la desviación máxima del eje en los 2,5 primeros metros del tronco en *Pinus pinaster* de 10 años, y Williams y Lambeth (1989) una heredabilidad familiar de 0,54-0,59 e individual de 0,06-0,13 para la desviación máxima definida por una barra de 2,4 m de longitud en los 4,8 primeros metros, en *Pinus taeda* de ocho años.

Esta baja heredabilidad puede atribuirse a que la rectitud del tronco está condicionada por muchos factores que no se reflejan en las mediciones efectuadas, como son la sensibilidad a factores deformantes y la capacidad de reenderezamiento vía madera de compresión. Una evaluación más fina pasaría por una clasificación preliminar del posible origen de la deformación. Inicialmente podrían separarse las deformaciones causadas por pérdida de la guía del resto. La identificación de este tipo de deformaciones es a veces muy evidente, por la forma típica en bayoneta y porque en ocasiones pueden observarse aún restos de la guía inicial. No obstante, con el paso de los años puede llegar a ser difícil distinguirlo, al ir suavizándose las formas por el crecimiento radial asimétrico y por el enderezamiento inducido por la madera de compresión formada (Loup *et al.*, 1991).

Hemos visto que el tercio inferior del fuste es el que presenta más y mayores curvaturas, siendo además la porción de mayor valor económico. Una ventaja adicional de efectuar la evaluación en la parte basal del tronco es la mayor dificultad que presenta realizarla en las partes superiores. Resultados equivalentes en esta misma especie fueron obtenidos por Crisan (1977) al comparar la verticalidad bajo y sobre los 2,5 m de altura.

La disminución de las dimensiones de las curvaturas y su frecuencia hacia el extremo superior del tronco puede tener importantes implicaciones en la selección precoz de la rectitud dentro de los programas de mejora de esta especie. Dado que estos árboles tenían una altura media de 8,5 m y 22 años de edad, podríamos pensar que la selección para el carácter rectitud sería eficaz cuando los árboles tuviesen aproximadamente 3 m de altura o/y unos siete años de edad. Una segunda vía podría abrirse con la hipótesis de que esa mayor presencia de curvaturas en el tramo basal del fuste estuviera relacionada con la mayor sensibilidad en los primeros años de vida a los factores que puedan provocar deformaciones en el tronco. La sensibilidad a los factores potenciales que provocan la pérdida de guía (por ejemplo, el frío) en una determinada población, podría ser un carácter importante para realizar una selección indirecta de la rectitud en *Pinus pinaster*.

CONCLUSIONES

Se constata la existencia de variabilidad del carácter rectitud del fuste entre procedencias, indicando que dicho carácter debe ser tenido en cuenta a la hora de seleccionar

procedencias de *P. pinaster*. El estudio de la rectitud en esta especie puede centrarse en la parte basal del tronco (aproximadamente hasta 3 m de altura), ya que en ella aparecen curvaturas con mayor frecuencia y de mayores dimensiones que en las partes superiores del tronco, añadiéndose las circunstancias de ser la porción de mayor valor económico y de mayor facilidad de medición. El método de evaluación de la rectitud debe elegirse en función del objetivo del estudio, siendo el más rápido la puntuación subjetiva, pero siendo recomendable una medida objetiva (por ejemplo la máxima desviación de la vertical) para el caso en que el estudio comprenda árboles que crecen en diferentes parcelas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a María Bragado su colaboración en la toma de datos y a Jesús de Miguel la elaboración de gráficos. Este trabajo se realizó dentro del proyecto ICONA-INIA "Mejora genética de coníferas: variabilidad entre y dentro de poblaciones", en el Departamento de Sistemas Forestales del CIT-INIA, mientras la primera autora disfrutaba de una beca de FPI del Ministerio de Educación y Ciencia.

SUMMARY

Evaluation of stem straightness in six provenances of *Pinus pinaster* Ait.

Stem straightness was analyzed in six Spanish provenances of *Pinus pinaster* Ait.. Three methods were used: subjective punctuation by three different observers, type of curvature and "equivalent curvature" method (based on curvature dimensions). Straightness was evaluated in provenance test at two different sites, with 22 and 35 year-old trees respectively. Stem straightness was considered at three different heights, with the basal section showing the largest and more frequent curvatures. Results with the three methods are very similar in as far as the classification of the six provenances, although they differ in the time required and the information obtained. Large differences in stem straightness have been detected in the studied provenances.

KEY WORDS: *Pinus pinaster*
Stem straightness
Subjective score
Curvature dimensions
Provenances

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALAZARD P., 1979. Le polycyclisme chez le pin maritime. Annales AFOCEL:7-29.
 ALDHOUS J.R., 1986. Quality of softwood timber - market prices and revenue expectation. Quarterly-Journal-of-Forestry, 80: 4, 233-240.
 ALIA R., 1989. Mejora genética de *Pinus pinaster* Ait. Estudio de procedencias. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 225 pp.
 BAILLERES H., 1991. Consequences du bois juvenile et du bois de compression sur la stabilité dimensionnelle des contreplaques de pin maritime. Troisième séminaire interne "Architecture, Structure, Mécanique de l'arbre". Montpellier.
 BARSZCZ A., 1989. Analysis of the frequency of occurrence of wood defects in standing coniferous trees as an extension to evaluations of the quality of the raw material base. Sylwan., 133: 3, 31-38.
 CONCHE I., 1978. Determinisme génétique de l'anisotropie et de certains caracteres de forme chez le pin maritime. Mémoire de stage de fin d'études. INRA-FORET, IUT de Tours. 42 pp.

- COTTERILL P.P., 1981. A method of evaluating crown form. Proc. Research working group n° 1 of the Australian Forestry Council. CSIRO Division of Forestry and Forest Products: Canberra.
- COTTERILL P.P., DEAN C.A., VAN WYE G., 1987. Additive and dominance genetic effects in *Pinus pinaster*, *P. radiata* and *P. elliottii* and some implications for breeding strategy. *Silvae Genetica* 36 (5-6): 221-232.
- CRISAN P.A., 1977. Déterminisme génétique de la forme du pin maritime. Correlations avec la vigueur et le rythme de croissance. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des techniques forestières. INRA- Cestas. 66 p.
- EMBRY R.S., GOTTFRIED G.J., 1971. Frequency of stem features affecting quality in Arizona mixed conifers. USDA Forest Service. Research Paper RM-70. 19 pp.
- GIERTRYCH M., 1991. Inheritance of tree form. En *Genetics of Scots Pine*, Ed. M. Giertrych. Elsevier: 243-255.
- ILLY G., 1966. Recherches sur l'amélioration génétique du Pin maritime. *Annales de Sciences Forestières*, 23 (4): 769-948.
- LARGUIA A., 1967. The behaviour of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in Misiones. *Idia: Supl. for. No. 4*: 53-58.
- LOUP C., FOURNIER M., CHANSON B., MOULIA B., 1991. Redressements, contraintes de croissance et bois de réaction dans le bois d'un jeune *Pinus pinaster* artificiellement incliné. Troisième séminaire interne "Architecture, Structure, Mécanique de l'arbre". Montpellier.
- MAGINI, 1969. The heritability of the stem form in *Pinus pinaster*. *FAO-FTB* 3/8. 7 pp.
- MILLER W.E., KESSLER K.J.Jr., OHMAN J.H., ESCHLE J.T., 1978. Timber quality of northern hardwood regrowth in the Lake States. *Forest Sci.*, Vol. 24 (2):247-259
- PERRY T.O., 1960. The inheritance of crooked stem form in loblolly pine form (*Pinus taeda* L.). *J. For.* 58: 943-947.
- PINTARIC K., 1973. Stem quality in Larches of different provenances. *Allgemeine- Forst-und-Jagdzeitung*. 144: 3, 65-68.
- SHELBOURNE C.J.A. , NAMKOONG G., 1966. Photogrammetric technique for measuring bole straightness. Southern Conference on Forest Tree Improvement. 8. Savannah, GA. 131-136.
- SIERRA-DE-GRADO R., 1994. Mejora genética de *Pinus pinaster* Ait de la procedencia Sierra de Gredos. Caracteres de crecimiento y forma. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 191 pp.
- WILLIAMS C.G., LAMBETH C.C., 1989. Bole straightness measurement for advanced- generation loblolly pine genetic tests. *Silvae Genetica* 38 (5-6): 212-217.