

## LOS PINOS COMO ESPECIES BASICAS DE LA RESTAURACION FORESTAL EN EL MEDIO MEDITERRANEO

L. GIL<sup>1</sup> y M. ARÁNZAZU PRADA<sup>1</sup>

### RESUMEN

La historia de la superficie forestal de España es la de su disminución en favor de la utilización agronómica y, cuando la productividad quedaba reducida, su abandono a matorral. En 1985 la superficie arbolada estaba reducida al 19,2% del territorio, cifra en la que se incluyen las 3,2 millones de hectáreas repobladas en los últimos cincuenta años.

La repoblación, iniciada en 1940 por el Patrimonio Forestal del Estado y continuada en 1972 por el ICONA, tuvo en los pinos ibéricos sus especies básicas, pues los empleó en el 82,7% de la superficie repoblada. En las últimas décadas esta política ha sido muy contestada y criticada por el empleo masivo de los pinos.

En el presente trabajo se revisan las razones que justifican el empleo de los pinos. El conocimiento de la estructura y función de las especies del género *Pinus* las muestra como poseedoras de un carácter heliófilo, capaces de almacenar agua y administrarla eficazmente y de bajo coste de mantenimiento. Estos rasgos son la causa de que su empleo sea recomendado frente a otras especies cuando se pretende implantar árboles en terrenos pobres que van a padecer una intensa sequía, circunstancias que afectan a la generalidad de la superficie repoblada en la España mediterránea.

### INTRODUCCION

El paisaje vegetal que nos rodea es el resultado de la convivencia del hombre con su entorno; el desarrollo de las sociedades humanas y el cambio climático son las causas de la modificación del paisaje. En los periodos históricos la degradación del medio fue progresando de manera paralela al aumento de población y a la evolución tecnológica de su cultura. La presencia del hombre y la necesidad de utilizar los recursos naturales ha dado lugar a la transformación de la vegetación primitiva en sistemas urbanos, industriales y agrosilvopastorales.

Históricamente, el aprovechamiento indiscriminado de los bosques ha provocado su regresión y el empobrecimiento de los suelos que los sustentan.

ban. El avance de los matorrales degradados a niveles evolutivos superiores es muy difícil, en particular en las condiciones adversas del medio mediterráneo. Además, la progresión de este matorral ha estado secularmente impedida por la acción del ganado y la utilización del fuego por el hombre rural.

Recuperar la vegetación y facilitar la evolución de los sistemas forestales debe constituir un objetivo básico de la Administración. La forma más sencilla de hacerlo es crear una cubierta forestal. Al generar un estrato arbóreo, se protege al suelo de la erosión, se amortigua la acción del clima y se crean condiciones de sombra que, en muchos casos, harán posible la instalación de especies nemorales más exigentes.

### LA DESAPARICION DEL BOSQUE

La historia de España, al igual que la de otros países del mundo mediterráneo, con culturas antiguas, destaca por una constante disminución de las

<sup>1</sup> Unidad de Anatomía, Fisiología y Genética Forestal. Departamento de Silvopascicultura. ETSI Montes-UPM. 28040 Madrid.

grandes áreas boscosas en favor de los campos de cultivo. El hombre llevó la agricultura y la ganadería a todo lugar que le fue accesible y hoy emplea los mejores terrenos para el cultivo agronómico. Estos suelos agrícolas son los más ricos y habrían estado mayoritariamente ocupados por la encina y otras especies del género *Quercus*.

Una de las características de nuestros bosques es que sus árboles difícilmente mueren de viejos. Son escasos los individuos añosos en nuestros montes, ligados a lugares de difícil acceso para el hombre, pero no para el incendio forestal.

La utilización del territorio español con fines agrícolas y ganaderos redujo la superficie forestal y en 1985 se distribuía de la siguiente forma (MAPA, 1988):

- 43,4% superficie labrada.
- 9,6% praderas y pastizales.
- 21,4% matorral en diversos niveles de degradación.
- 19,2% superficie cubierta con especies forestales.
- 6,3% terrenos improductivos.

El matorral representa una quinta parte del territorio; su aprovechamiento no es importante en la actualidad, porque la ganadería extensiva que lo pastoreaba se ha ido reduciendo. Esta superficie, junto con la labrada que se va abandonando, por su bajo rendimiento y por imperativo de la CE, constituye el área potencial teórica para ser reforestada.

Las masas forestales han quedado reducidas a otra quinta parte del territorio y, por su origen, se pueden reunir en dos grupos.

— Bosques naturales. Su presencia actual se debe, fundamentalmente, a que el hombre no pudo actuar sobre ellos con gran intensidad, en particular porque la propiedad subordinaba su aprovechamiento a la persistencia de la masa forestal, casi siempre como refugio de la caza. Aunque en algunas ocasiones el hombre pudo influir en su presencia, su actuación no implicó la introducción de genotipos de origen no local.

— Bosques procedentes de repoblaciones recientes. Tras una preparación intensa del suelo, se hacen siembras o plantaciones, no controlándose el origen de la semilla o utilizando fuentes no loca-

les, dando lugar a importantes traslados de semillas de unas zonas a otras y haciendo posible la existencia de fenómenos de introgresión.

Desde la época romana, el hombre ha actuado con intensidad sobre las masas forestales, incluyendo siembras o plantíos en zonas deforestadas. Esta acción la podemos identificar en aquellos montes que se denominan «El Ejido», «Baldío», «Pinar Nuevo», «Plantío», «Dehesa Nueva», «Monte Nuevo» y otros muchos que hacen referencia a una utilización agronómica anterior o a su carácter de nuevos. Podemos entender que la estructura genética de estas poblaciones es bastante similar a la de las masas espontáneas, ya que en la antigüedad se debieron utilizar casi siempre semillas o material vegetal de la zona. No ha ocurrido lo mismo con las iniciadas por los servicios forestales desde hace cien años, en particular las llevadas a cabo en el último medio siglo, cuya importancia se destaca por representar la tercera parte de la superficie arbolada actual.

El retroceso de las masas forestales tuvo en nuestro país su última manifestación con la denominada Desamortización de Madoz, ministro de Hacienda que en 1855 puso a la venta gran parte de los montes públicos, pertenecientes a ayuntamientos en su mayoría. Estos montes, junto con las grandes fincas de la nobleza, representaban los últimos restos de nuestros bosques.

De 1859 a 1865 la superficie forestal pública se redujo de 10,186 a 3,942 millones de hectáreas. Aunque los pinares, robledales y hayedos estaban exceptuados de la venta, la política de los sucesivos gobiernos hizo que muchos pasaran a manos privadas. Los bosques más afectados fueron encinares y alcornocales, al entender el Gobierno que podían transformarse en terrenos agrícolas. La pérdida de casi 2/3 partes de la superficie arbolada de 1859 y el fracaso de muchas de las transformaciones realizadas generó una corriente de reforestación que se plasmó en ley en 1877 y dio lugar, a principios de este siglo, a la repoblación de algunas cuencas sometidas a inundaciones (Guadalmédina) y aludes (Canfranc) para la protección de embalses (Lozoya) y fijación de dunas (Rosas, Guardamar). Aunque la superficie restaurada fue pequeña, el éxito obtenido dio lugar a un Plan de Repoblaciones que tuvo su auge tras la Guerra Civil.

## LAS REPOBLACIONES

Cuando se realiza un proyecto de repoblación, uno de los aspectos básicos es entender que se va a trabajar sobre un terreno degradado en el que la erosión ha eliminado las capas superiores de suelo y la cobertura vegetal es escasa. Por tanto, la elección de especie deberá recaer, en la mayoría de las ocasiones, en plantas que sean rústicas y heliófilas. El técnico que lo proyecta ha de tener en cuenta las características de suelo y clima del terreno donde se va a actuar y enfrentarlo a los requerimientos ecológicos de las diferentes especies que pretende utilizar.

El objetivo es conseguir lo más rápidamente posible una formación arbolada que detenga la degradación. En la mayoría de las ocasiones se encuentra con un clima mediterráneo que presenta dos particularidades:

— *Acusada sequía estival*. Las lluvias tienen lugar durante la estación fría y durante el verano el anticiclón de las Azores determina un tiempo seco y caluroso.

— *Inestabilidad climática*. Por ejemplo, en el corto período 1977-84 hubo una gran diversidad de situaciones extremas. Lluvias torrenciales e inundaciones, tormentas catastróficas, temporales de nieve, olas de frío, años sin verano, grandes sequías, olas de calor e insólitas calimas, destacando no los fenómenos en sí, sino lo inusitado de su profusión (FONT TULLOT, 1986).

El efecto que ocasiona el clima mediterráneo es fácil de entender. La actuación del hombre ha sido similar en la España mediterránea y en la atlántica; sin embargo, el resultado ha sido muy diferente en ambas zonas. Bajo las condiciones del clima atlántico la vegetación se recupera con facilidad y no existen problemas de erosión, salvo en zonas afectadas por incendios reiterados.

Como señalaba CAMPO (1913), pobreza del suelo y extremada dureza del clima constituían, con triste seguridad, los factores en los que se debían basar las repoblaciones. La elección de especie en la España mediterránea debe recaer en aquellas adaptadas a suelos poco evolucionados y, por tanto, secos o de rápido drenaje. Al no acumular agua el suelo las situaciones de déficit hídrico son frecuentes, por lo que las especies utilizadas deben tener

tasas de transpiración y coste de mantenimiento bajos, unidos a reservas de agua importantes.

## LAS ESPECIES UTILIZADAS

Desde 1940 a 1987 la Administración Forestal repobló una superficie de 3.211.186 hectáreas. Las diferentes especies empleadas, la superficie y la importancia de cada una de ellas respecto al total se recogen en la Tabla I.

En el 82,7% de la superficie se emplearon las diferentes especies de pinos que de modo natural se encuentran en la Península Ibérica, si bien en el caso del *P. nigra* se incluyen las repoblaciones realizadas con *P. nigra austriaca*. Sin duda se echa de menos una mayor utilización de frondosas como encinas, alcornoques, quejigos o robles, pues queda englobada escasamente dentro del 1,3% reseñado en la Tabla.

Para realizar las repoblaciones el Estado adquirió 1.172.473 ha entre 1940 y 1987, la mayoría terreno raso; el resto las ejecutó mediante consorcios o convenios con sus propietarios. Si bien hubo actuaciones que en ocasiones condujeron a una sustitución desafortunada de bosques de frondosas por especies de crecimiento rápido como es el caso de los eucaliptos y de *P. radiata*, la importancia de éstas, frente al total realizado, no invalida la enorme tarea de recuperación de la cubierta forestal que se realizó en el último medio siglo.

TABLA I  
SUPERFICIE REPOBLADA POR ESPECIES  
DURANTE EL PERIODO 1940-87

Especie	Superficie (ha)	%
<i>Pinus pinaster</i> .....	825.195	25,7
<i>P. sylvestris</i> .....	598.623	18,6
<i>P. halepensis</i> .....	533.415	16,6
<i>P. nigra</i> .....	398.241	12,4
<i>P. pinea</i> .....	252.981	7,9
<i>P. radiata</i> .....	180.183	5,6
<i>P. canariensis</i> .....	29.020	0,9
<i>P. uncinata</i> .....	19.789	0,6
Otras coníferas .....	25.386	0,8
<i>Populus</i> spp. ....	30.549	0,9
<i>Eucalyptus</i> spp. ....	274.770	8,5
Otras frondosas .....	42.954	1,3

La elección de las especies básicas de repoblación no fue caprichosa, sino que surgió de las experiencias de los primeros técnicos que las iniciaron, al comparar los éxitos obtenidos con los pinos, frente a las dificultades de empleo de las frondosas. Un ejemplo nos lo proporciona CARO (1908), quien repobló con alcornoques los rasos existentes del monte «El Robledal» de Cortes de la Frontera (Málaga) y obtuvo un buen resultado en los terrenos de cultivo abandonados, pero al intentarlo en terrenos degradados y no obtener éxito realizó un ensayo con pinos y alcornoques y a los dos años señalaba cómo se habían perdido la mayoría de los «alcornoquitos» y de pino no había ninguna marra.

Para entender este resultado debemos ser conscientes de las distintas aptitudes de ambos grupos de especies. Enfrentar o situar al mismo nivel a los pinos con las frondosas climáticas constituye un error; aunque conviven en un mismo territorio, son árboles característicos de formaciones con diferente nivel evolutivo.

## LAS ADAPTACIONES DE LOS PINOS MEDITERRANEOS

Cuando se repuebla un terreno se pretende llenar el hueco debido a la falta de vegetación arbórea y, por tanto, se ha de recurrir a especies colonizadoras. Los pinos son capaces de ocupar espacios vacíos por su capacidad de vivir en situaciones contrastadas. Estas coníferas poseen rasgos morfológicos y fisiológicos que son reflejo de adaptaciones a dichos ambientes. En primer lugar, señalamos aquellos aspectos que determinan una gran variabilidad, que hace posible la selección de individuos adaptados como resultado de una competencia entre plantas de la misma o distinta especie.

### A) Alta variabilidad

Las especies de pinos de la Península Ibérica, al igual que otras del género, mantienen altos niveles de diversidad porque realizan un enorme esfuerzo reproductivo y éste es exclusivamente sexual; la polinización es anemófila y la disposición de las estructuras reproductoras favorece la fecundación cruzada.

En un pino, las flores masculinas y femeninas se sitúan en distintas zonas de la copa y su aparición

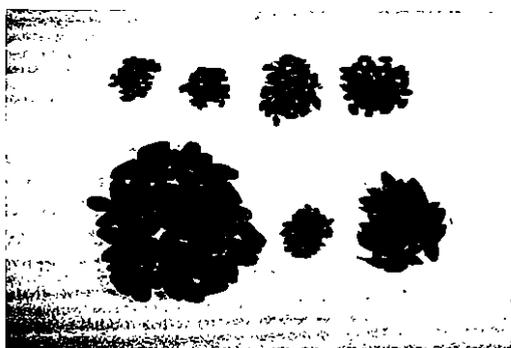


Foto 1. Tamaño de la semilla de los pinos españoles (50 piñones por especie): *P. uncinata*, *P. sylvestris*, *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. pinea*, *P. halepensis*, *P. canariensis*.

no es sincrónica. Las primeras, al comienzo del crecimiento anual, en las ramas inferiores, y las femeninas, al final del crecimiento del año, en las ramas de la parte superior de la copa. Esta forma de reproducción permite que los pinos sean muy heterocigóticos. Poseer esta condición frente a la homocigosis implica ventajas adaptativas, al permitir una mejor homeostasis fisiológica en situaciones ambientales fluctuantes (LERNER, 1954). La heterocigosis asegura una mayor flexibilidad para adaptarse al inevitable cambio ambiental que se produce a largo plazo (KIMLOCH *et al.*, 1986) y, dada la gran longevidad de sus individuos, dentro de su propio ciclo biológico.

En general, los pinos dan lugar a grandes cosechas de semillas. Tienen lugar regenerados muy densos, donde son normales intensidades de selección que reducen el efectivo inicial varios miles de veces. Las semillas son de pequeño tamaño (Foto 1) (Tabla II) y están provistas de un ala para su diseminación; la excepción la constituye *Pinus pinea*, más pesado y de ala rudimentaria.

TABLA II  
NUMERO MEDIO DE SEMILLAS POR kg  
EN LOS PINOS IBERICOS (CATALÁN, 1977)

<i>Pinus pinea</i> .....	1.200
<i>P. halepensis</i> .....	50.600
<i>P. pinaster</i> .....	15.000
<i>P. nigra</i> .....	30.800
<i>P. sylvestris</i> .....	114.400
<i>P. uncinata</i> .....	115.000

Las semillas normalmente no se separan mucho de su fuente, pues se dispersan en sus proximidades, pero su poco peso y la presencia del ala las aleja lo suficiente de la influencia de la copa del árbol madre. Su establecimiento ocurre en un radio igual o pocas veces mayor que la altura del árbol.

La dispersión a larga distancia implica la intervención de animales. En el invierno y comienzo de la primavera el piñón constituye un alimento importante en la dieta de ardillas, pequeños mamíferos y aves frugívoras; con este origen hemos observado árboles alejados más de 10 km del pinar más próximo. CWCYNAR & MACDONALD (1987) señalan desplazamientos de 70 km en *Pinus contorta*.

Las plántulas para germinar requieren zonas donde el suelo mineral queda expuesto. En este caso, su pequeña radícula penetra con facilidad en el sustrato y la plántula comienza con rapidez a fotosintetizar; el tiempo que tarda la radícula en desplazarse hasta que arraiga constituye una fase decisiva para su supervivencia, que se ve afectada por la presencia de una capa de hojarasca o cubierta herbácea que dificulte su progresión.

La polinización se realiza por el viento; el polen puede alejarse considerablemente de su origen, pero, como en el caso de las semillas, la mayor parte se distribuye alrededor del progenitor. Los estudios realizados con algunas especies de pinos muestran que la mayoría permanece por debajo de un radio de 100 m (WRIGHT, 1976).

La escasa distancia que se separa el polen del progenitor, unido al hecho de que los árboles contiguos pueden estar emparentados, nos lleva a pensar que los rodales naturales pueden constituir entidades con elevados porcentajes de endogamia.

No obstante, la endogamia debida a la autopolinización o por el cruzamiento entre individuos próximos emparentados no va a ser importante, debido a la presencia de genes deletéreos en el acervo genético de la población. Cuando estos genes se encuentran en homocigosis van a producir semillas vanas o individuos muy inferiores a los procedentes de polinización cruzada, que serán suprimidos por la acción del medio y de los competidores (FRANKLIN, 1970). En poblaciones finlandesas de *Pinus sylvestris* el número de estos genes letales fue estimado en 75, variando su número entre tres y 20 genes letales diferentes por árbol;

aunque la proporción de semillas autopolinizadas en un rodal puede ser del 20%, la de árboles resultantes con este origen quedaba reducida al 1% (KOSKI, 1971, 1973).

TIGERSTEDT *et al.* (1982), al estudiar las diferencias entre la distribución de genotipos de un rodal de *Pinus sylvestris* con árboles de trescientos-cuatrocientos años de edad y el regenerado de ochenta años localizado en torno a los pinos viejos, observaron desviaciones importantes frente a la composición genotípica esperada, pues se presentaba una heterogeneidad de frecuencias más alta que el grado estimado de homocigosis. Los autores deducen una intensa competencia como factor decisivo para alcanzar una población bien adaptada y libre de deterioro genético.

## B) Adaptaciones estructurales y funcionales que proporcionan una óptima economía del agua

El parecido entre las distintas especies de pinos es tal que resulta difícil diferenciar unas de otras, en particular cuando son jóvenes. Los rasgos morfológicos más aparentes se encuentran en las piñas y las cortezas de fustes gruesos. El xeromorfismo constituye uno de los aspectos más destacados de su morfología. Esta adaptación ha permitido que compitan con éxito frente a otros árboles y, pese a su antigüedad, constituyan la vegetación forestal típica de un gran número de ambientes en el Hemisferio Norte. El xerofitismo se manifiesta a través de diferentes rasgos.

### a) Morfología e histología foliar

Las acículas de los pinos tienen una baja relación superficie/volumen. En condiciones de sequía, con los estomas cerrados, la anchura influye marcadamente en la capacidad para disipar calor (CAMPBELL, 1977) y evitar el sobrecalentamiento de los tejidos internos de la hoja. Asimismo, cuando los estomas están abiertos la pequeña anchura las convierte en muy eficientes en la evaporación de agua bajo condiciones de poco viento.

La epidermis posee una gruesa cutícula y está lignificada, al igual que la hipodermis, lo que proporciona superficies muy impermeables y un importante refuerzo mecánico, común entre las espe-

cies xerófitas e interpretado como una estructura que reduce los efectos dañinos producidos por el marchitamiento (ESAU, 1977).

Los estomas están hundidos y se encuentran recubiertos de un material céreo de estructura cristalina (Foto 2) en forma de malla a través de la cual se puede realizar el intercambio gaseoso, pero que a su vez opone resistencia a la pérdida excesiva de vapor de agua y constituye un mecanismo de defensa frente a evaporaciones intensas en períodos calurosos. Las altas temperaturas del verano degradan la malla de ceras de los estomas para formar un tapón que lo sella y evita la pérdida de agua.

En las acículas el parénquima fotosintetizador se dispone en forma de anillo en la parte más externa de la hoja; el centro de la acícula está formado por los haces conductores rodeados por un tejido de transfusión formado por traqueidas y parénquima capaz de almacenar agua. En *Pinus resinosa* este tejido de transfusión representa el 70,1% del

haz vascular y el 18,3% de la superficie de la hoja (GAMBLES & DENGLER, 1981); esta estructura carece de equivalente en *Quercus* spp. La importancia de esta reserva de agua la podemos observar al comparar la capacidad de supervivencia de hojas cortadas de dos especies de hábitats muy distintos como *Pinus sylvestris* y *Quercus ilex*, aunque en nuestro país se las puede encontrar en contacto. LARCHER (1975) señala cómo el consumo de agua en la encina es muy pequeño (el 60% del pino), pero el tiempo que sus hojas permanecían sin daños frente a una evaporación potencial, determinada después del cierre de los estomas y sin suministro de agua, era del 35% de la alcanzada por el pino, debido a que en este último la reserva de agua al cerrarse los estomas era 5,5 veces superior.

#### b) Tallos enanos o braquiblastos

Los pinos presentan un patrón de ramificación poco usual cuya morfología es muy adecuada para evitar los efectos de un medio con grandes fluctuaciones; estos rasgos son propios de especies colonizadoras capaces de soportar el clima contrastado de los espacios abiertos. Las acículas u hojas asimiladoras se encuentran insertas en el ápice de tallos enanos de crecimiento definido que sufren abscisión en el momento de la caída de las hojas. Estos tallos, de apenas unos pocos milímetros, se denominan braquiblastos y surgen de la axila de una hoja primaria transformada en bráctea escamosa (Fig. 1), cuya función es la de proteger el desarrollo de las yemas que darán lugar al mencionado tallo.

En la base del braquiblasto se desarrollan una serie de hojas escamosas, 13-17 en el caso de *Pinus pinaster* (DOAK, 1935), que forman una vaina protectora, la cual hace posible el crecimiento continuo y prolongado de las acículas al aislar los tejidos meristemáticos de la acción del medio. La vaina evita la pérdida de agua de la acículas jóvenes y cuando emergen al exterior su hipodermis y epidermis están lignificadas y la cutícula depositada (Foto 3).

Un aspecto destacado de estas escamas de la vaina es la presencia de márgenes deshilachados, de manera que ambos bordes se hacen concrecentes y dan lugar a una serie de hojas de sección anular cerradas en su extremo apical que deberán ser perforadas por las acículas cuando su crecimiento exceda la longitud de la vaina. Estas escamas de la



Foto 2. Estoma seccionado de *P. uncinata* mostrando los cristales de cera de la cavidad.

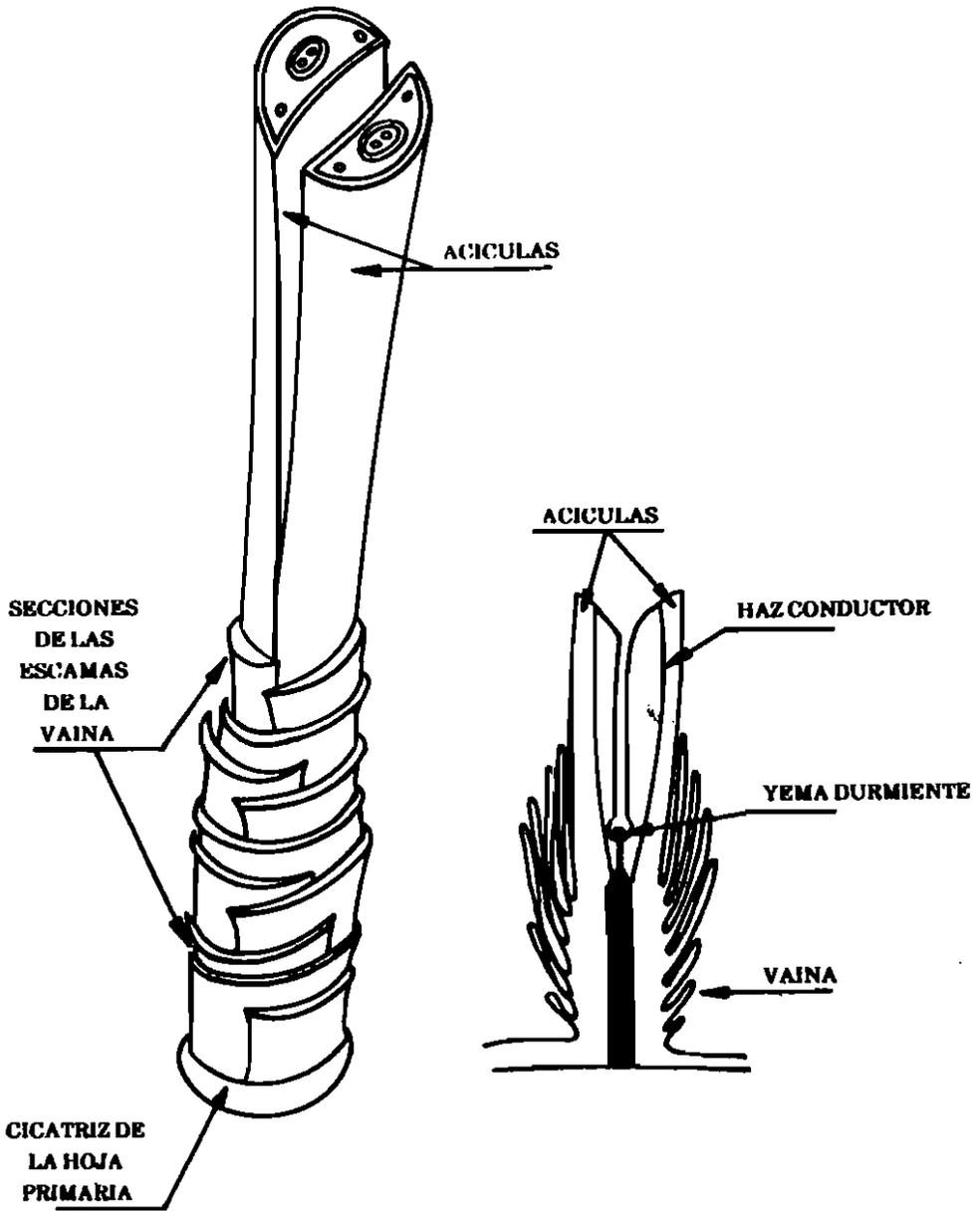


Fig. 1. Estructura de un braquistopodo.

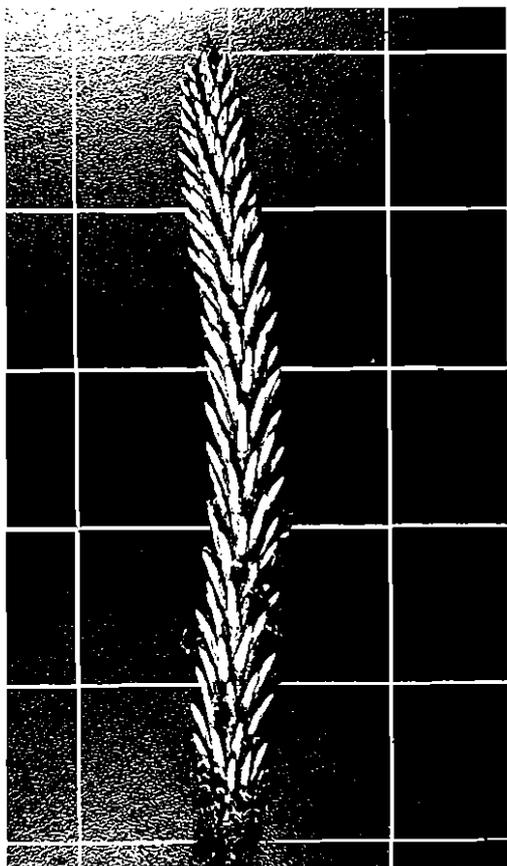


Foto 3. Crecimiento de primavera de un tallo de *P. pinaster* donde se observan los ápices de las jóvenes acículas emergiendo de la vaina del braquiblasto.

base del braquiblasto envuelven y mantienen unidas las acículas, haciendo posible su disposición erecta y protegen la yema terminal quiescente del braquiblasto que, en caso de traumatismo y pérdida de yemas principales superiores, se activará y dará lugar a un tallo. La vaina, al principio relativamente alargada, sufre un proceso posterior de reducción que incrementa el área fotosintetizadora de las acículas.

#### c) Carácter heliófilo

Los pinos son, en general, especies intolerantes a la sombra, lo que evidencia su condición de especie colonizadora y constituye un requisito importante en las repoblaciones, pues las plantas que se

utilizan deben soportar bien la acción del sol. KRAMER & DECKER (1944) y KOZLOWSKI (1949) mostraron que en plantas de *Pinus taeda* y *P. contorta* la fotosíntesis aumentaba al hacerlo la iluminación, alcanzando el máximo a plena luz solar, mientras que las frondosas asociadas, al ser especies de sombra, alcanzan su máxima tasa fotosintética a una irradiancia mucho menor (30% o menos).

#### d) Anatomía del xilema

El tipo de célula mayoritaria del leño de los pinos y de las coníferas en general es la traqueida. El sistema de transporte de agua carece de la especialización propia de las angiospermas, pero es el adecuado por sus menores requerimientos hídricos. Las traqueidas longitudinales representan un 93% del volumen de la madera en *Pinus strobus*, cifra que se puede considerar típica para la madera de las coníferas (SIAU, 1984). Este gran volumen ocupado por las traqueidas (células huecas por la muerte del protoplasto y, en principio, de función conductora) es, además, un importante reservorio de agua.

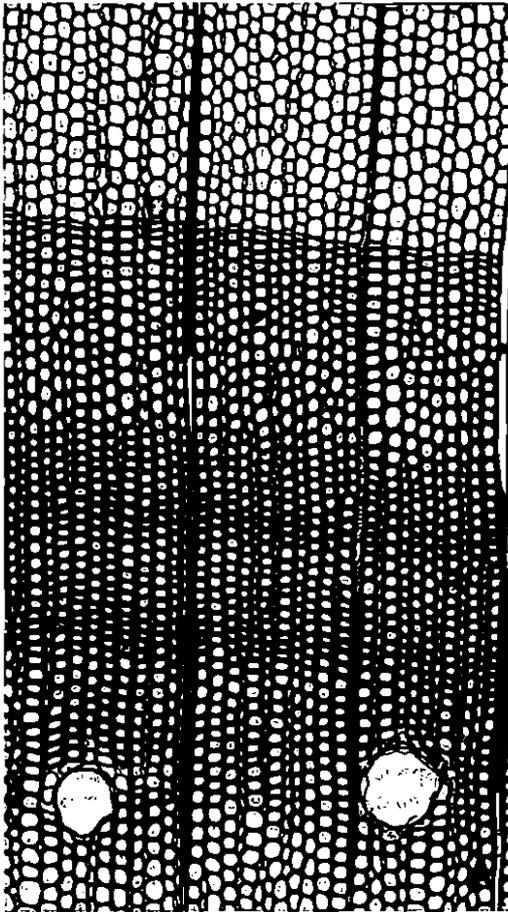
La capacidad de almacenar agua en la albura se evidencia por la existencia de otro tipo de traqueidas que se sitúan en los radios; estas traqueidas radiales son un elemento celular inexistente en nuestras frondosas. Cuando el flujo de agua aportado por las raíces a la copa no es suficiente, el agua almacenada en las traqueidas de los radios se desplaza hacia los anillos externos para subir a las hojas. En los anillos internos, a medida que el déficit hídrico se hace importante, las traqueidas dejan de ser funcionales y se integran en el duramen.

Por su pequeño diámetro, la traqueida es el elemento más seguro para evitar la formación de burbujas de aire que rompen las columnas de agua. Estos embolismos son producidos por falta de agua en el suelo o por la alternancia hielo-deshielo al congelarse la savia (ALONI, 1989). De ocurrir la cavitación, ésta queda confinada a células aisladas por la existencia de punteaduras areoladas. Estas punteaduras poseen una membrana interna formada por una lámina periférica o margo con un espesamiento central lignificado o toro. El margo posee una estructura celulósica que permite el paso de líquidos al elemento contiguo; cuando se produce el embolismo, el desplazamiento del toro cierra la comunicación.

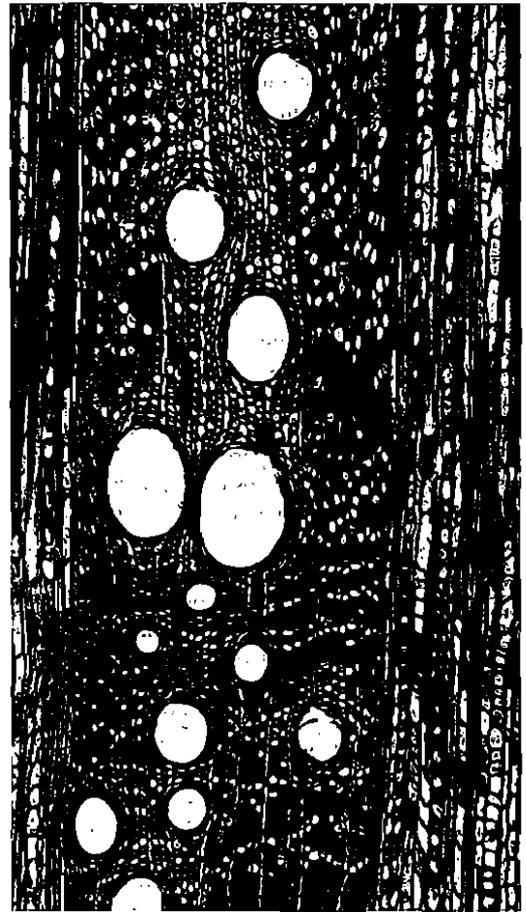
La sencillez histológica del xilema de los pinos (Fig. 2a) la podemos entender como favorable cuando los requerimientos hídricos son pequeños o existen limitaciones por el escaso volumen de agua que puede acumular el suelo. Sin problemas en el abastecimiento de agua, los vasos (exclusivos de las frondosas) realizan una conducción más eficaz por ser elementos de mayor diámetro (Fig. 2b) y por estar sus extremos desprovistos total o parcialmente de pared celular (en particular en las especies de anillo poroso), facilitando así el flujo de célula a célula.

La anchura de los elementos conductores permite entender el régimen hídrico de la planta que los posee. Dentro de un mismo género las especies más xerófitas poseen las células conductoras más estrechas (Tabla III).

Las especies con vasos de mayor lumen y eficiencia hidráulica son los árboles con madera de anillo poroso y *Quercus* es uno de los géneros más comunes cuyas especies presentan este tipo de xilema. COCHARD & TYREE (1990) señalan cómo también la helada es la causa de la pérdida de la capacidad



(a)



(b)

Fig. 2. Corte transversal de la madera de *P. pinaster* (a) y *Q. ilex* (b). Contrasta la homogeneidad de elementos del pino frente a la diversidad de los de la encina, así como el tamaño de las células conductoras y el grosor de los radios (60X).

TABLA III  
ANCHURAS (EN MICRAS) DE TRAQUEIDAS  
EN PINOS Y DE VASOS EN FRONDOSAS  
(GARCÍA & GUINDEO, 1988, 1989)

<i>Pinus sylvestris</i> .....	37-60
<i>Pinus nigra</i> .....	40-45
<i>Pinus pinaster</i> .....	30-36
<i>Pinus halepensis</i> .....	20-30
<i>Quercus coccifera</i> .....	84-115
<i>Quercus ilex</i> .....	260-300
<i>Quercus pyrenaica</i> .....	280-350
<i>Quercus robur</i> .....	350-450

hidráulica por embolismo, siendo más dramática en *Quercus* que en las coníferas o en las especies de madera de porosidad difusa. El frío en invierno o la sequía en verano representan la pérdida de funcionalidad de una parte importante del xilema, de manera que la relación superficie de albura/peso de las hojas varíe entre 0,6-39,8 en las coníferas y un escaso 0,25-4,3 en las frondosas (EWERS, 1985).

#### e) Administración eficaz de la reserva de agua

Los pinos almacenan agua en la albura del xilema y en el tejido de transfusión de la acícula. Constituye una reserva de agua que administran eficazmente, en particular cuando el suelo carece de ella. En las acículas, al cerrar parcialmente los estomas a niveles relativamente altos del potencial hídrico, no comprometen su supervivencia cuando las sequías son prolongadas.

AUSSENAC & VALETTE (1982) observaron que diferentes especies de pinos (*Pinus uncinata*, *P. sylvestris*, *P. nigra* y *P. pinaster*) cerraban sus estomas a niveles relativamente bajos (con potenciales de  $-1,5$  a  $-1,7$  MPa), mientras que *Quercus ilex* y *Q. pubescens* mantenían una actividad fotosintética y transpirante a grados más elevados de desecación (con potenciales de  $-3,7$  y  $-3,2$  MPa). Análogamente ACHERAR *et al.* (1991) observan cómo las especies de *Quercus* perennifolios (*Q. ilex* y *Q. suber*) son capaces de mantener sus estomas abiertos con potenciales hídricos foliares muy negativos, haciendo posible una actividad fotosintética sostenida. El mantenimiento de potenciales osmóticos bajos y la capacidad de osmorregulación constituyen aspectos típicos de los *Quercus* de las regiones

áridas de Norteamérica, a los que se unen sistemas radicales profundos que permiten potenciales hídricos elevados al amanecer (ABRAMS, 1990).

Con la excepción de la coscoja, las frondosas mencionadas, aunque adaptadas a un medio xerófito, desarrollan sus bosques en suelos profundos y evolucionados, donde forman un gran sistema radical capaz de prospectar y utilizar reservas importantes del agua acumulada en el suelo. Así logran un período mayor de actividad fotosintética, pero sus efectos son negativos cuando se las sitúa sobre suelos donde la sequía es intensa y persistente.

En los pinos, al imponerse un rápido cierre de los estomas cuando escasea el agua en el suelo, se reduce el período de fotosíntesis, pero se compensa con su capacidad de producir con rapidez una gran superficie foliar y disponerla eficazmente al comienzo del período vegetativo, época en la que no suelen existir problemas hídricos, lo que permite que en pocas semanas efectúen casi todo su crecimiento en longitud.

#### f) Coste de mantenimiento

En los pinos las células con protoplastos constituyen una fracción mínima de su biomasa, prácticamente limitada a las células fotosintetizadoras de las hojas, el parénquima del floema y el de los canales resiníferos del xilema. Bajo situaciones de sequía y elevadas temperaturas el mantenimiento de la respiración no va a implicar una gran demanda de carbohidratos.

MERINO (1987) analizó el coste de crecimiento y mantenimiento de las hojas de 47 especies mediterráneas entre las que figura un solo pino junto a siete especies de *Quercus*. Sus valores, así como los de aquellas especies que presentan los máximos y mínimos, se recogen en la Tabla IV.

El coste de crecimiento está determinado por el tamaño de la hoja y la formación de resina y de compuestos secundarios de alto valor energético depositados sobre sus superficies. *Pinus pinaster* tiene un coste medio-alto, pero como la formación de las hojas se realiza en una época en la que no suelen

TABLA IV

COSTE DE CRECIMIENTO (g GLUCOSA/g PESO SECO)  
Y COSTE DE MANTENIMIENTO (g GLUCOSA/g PESO  
SECO × DIA) DE LAS HOJAS DE ALGUNAS  
ESPECIES MEDITERRANEAS  
(MERINO, 1987)

	CC	CM
<i>Calluna vulgaris</i> .....	1,75	0,0113
<i>Cistus ladanifer</i> .....	1,59	0,0135
<i>Erica scoparia</i> .....	1,91	0,0129
<i>Ficus carica</i> .....	1,23	0,0145
<i>Juniperus communis</i> .....	1,58	0,0116
<i>Phlomis purpurea</i> .....	1,49	0,0161
<i>Pinus pinaster</i> .....	1,68	0,0115
<i>Quercus cocifera</i> .....	1,56	0,0132
<i>Q. pyrenaica</i> .....	1,48	0,0146
<i>Q. rotundifolia</i> .....	1,51	0,0130
<i>Q. suber</i> .....	1,54	0,0144

existir limitaciones la comparación entre especies no es indicativa.

El coste de mantenimiento de las hojas implica a largo término el éxito de las especies mediterráneas cuando viven o se sitúan en lugares de sequía acusada. Frente a *P. pinaster* la encina tiene un coste mayor de un 13% y el alcornoque de un 25%. Pero, además, este coste de mantenimiento no se debe limitar a las hojas. Se ha de considerar la respiración en los abundantes protoplastos no fotosintéticos de tallos, ramas y raíces. En los *Quercus* el número de células vivas es considerablemente mayor. Esta demanda constituye la causa de que las encinas se achaparran cuando crecen en medios pobres, pues la práctica totalidad de los productos de la fotosíntesis se emplea en mantener la estructura ya formada e impide el crecimiento en altura de la planta.

En el caso de los pinos, este coste se limita prácticamente a los elementos parenquimáticos de los radios del xilema (el 6% del volumen del leño) y al floema. En las frondosas, al contrario, el parénquima es muy abundante en el xilema secundario, tanto en el xilema axial como en el radial y, sólo este último, representa el 17% (PANSHIN & DE ZEEUW, 1980).

El sistema axial de los pinos posee como únicos elementos parenquimáticos las células epiteliales de los canales resiníferos; una excepción la constituye

*Pinus canariensis*, especie en la que es muy abundante, por lo que es capaz de brotar tras los incendios. La resina está formada por compuestos relacionados con la defensa del vegetal, cuyo ciclo secretor se realiza en unos pocos días al comienzo del crecimiento anual, para entrar las células en una quiescencia que sólo se rompe por la acción de traumatismos (BARADAT & MARPEAU-BEZARD, 1988).

## CONCLUSIONES

La restauración de la vegetación en los montes españoles tiene como punto de partida la elección de especies. Bajo un punto de vista conservacionista esta elección se debe realizar entre el abanico de plantas que forman bosques espontáneos y escoger aquellas que reúnan las cualidades que las hacen aptas para la colonización de terrenos rasos y de poco suelo.

Los pinos, por su presencia en gran parte de nuestra geografía, por el valor social o económico de sus aprovechamientos y por sus características ecológicas se convirtieron con el paso del tiempo en las especies utilizadas para la repoblación de los abundantes paisajes desnudos de vegetación arbórea. Aunque su uso se vulgarizó en exceso, su empleo no debe ser objeto de una crítica general que pretenda invalidar su utilización.

Son árboles frugales, xerófilos, de carácter pionero en la progresión vegetal, heliófilos, de temperamento robusto e invasor, es sencillo recolectar y conservar su semilla y son fáciles de manejar en vivero, por lo que han venido siendo empleados con notable éxito. Estos rasgos se derivan de una morfología adaptada a climas extremos, a la capacidad para almacenar agua en tallos y hojas, al rápido cierre de los estomas cuando escasea el agua, al reducido número de células vivas y su bajo coste de mantenimiento, conjunto de características que hacen fácil su implantación y probable su pervivencia. Los pinos mediterráneos son especies adecuadas para repoblaciones en terrenos pobres que van a padecer prolongadas sequías y temperaturas extremas y como tales deben ser considerados.

## SUMMARY

History of forest areas in Spain is based on its conversion for agronomic use and their abandonment as scrubland once productivity was reduced. In 1985 forest areas covered about 10 million hectare (19.2% of territory), figure that includes the 3.2 million hectare reforested along the last fifty years.

Reforestation was enhanced in 1940 by Patrimonio Forestal del Estado and continued in 1972 by ICONA, being iberian pines the main species. In the last decades this politics have been criticized because the masive use of pines.

In this paper reasons supporting the use of pines are revised. Knowledge of structure and function of species of genus *Pinus* shows them characterised as intolerant of shade, capable to store and manage water efficiently and with a low maintenance cost. This feature make their use recommended compared with other species when the intention is to implant trees in poor soils subject to intense drought, as was generally the case of reforested areas on mediterranean Spain.

## BIBLIOGRAFIA

- ABRAMS, M. D., 1990: «Adaptations and responses to drought in *Quercus* species of North America». *Tree Physiology*, 7: 227-238.
- ACHERAR, M.; RAMBAL, S., & LEPART, J., 1991: «Evolution du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement». *Ann. Sci. For.* 48: 561-573.
- ALONI, R., 1989: «Control of xylogenesis within the whole tree». En: *Forest Tree Physiology* (Ed. E. DREYER *et al.*). *Ann. Sci. For.* 46 suppl. 267s-272. Elsevier/INRA.
- AUSSENAC, G., & VALETTE, J. C., 1982: «Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le Mont Ventoux». *Ann. Sci. Forest.*, 39 (1): 41-62.
- BARADAT, P., & MARPEU-BEZARD, A., 1988: *Le pin maritime Pinus pinaster. Ait. Biologie et génétique des terpenes pour la connaissance et l'amélioration de l'espece*. These collectiv Docteur d'Etat, Université Bordeaux I. Bordeaux.
- CAMPBELL, G. S., 1977: *An Introduction to Environmental Biophysics*. Springer-Verlag, Berlin.
- CAMPO, A. DEL, 1913: «Nuevos rumbos». *Revista de Montes*, XXXVII: 565-570.
- CARO, E., 1908: *Plantaciones de pino rodeno*. Ronda.
- CATALÁN, G., 1977: *Semillas de árboles y arbustos forestales*. ICONA, Monografías 17, Madrid.
- COCHARD, H., & TYREE, M. T., 1990: «Xylem disfunction in *Quercus*: vessel sizes, tyloses, cavitation and seasonal changes in embolism». *Tree Physiology*, 6 (4): 393-407.
- CWYNAR, L. C., & MACDONALD, G. M., 1987: «Geographical variation of lodgepole pine in relation to population history». *Am. Nat.*, 129: 463-469.
- DOAK, C. C., 1935: «Evolution of foliar types, dwarf shoots, and cone scales of *Pinus*». *Illinois Biological Monographs*, 13 (3): 131-230.
- ESAU, K., 1977: *Anatomy of seed plants*. Trad. española de la 2.ª edición. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires.
- EWERS, F. W., 1985: «Xylem structure and water conduction in conifer trees, dicot trees, and lianas». *IAWA Bulletin n.s.*, Vol. 6 (4): 309-317.
- FONT TULLOT, I., 1986: «Cambios climáticos en la Península Ibérica durante el último milenio con especial referencia a la "Pequeña Edad Glacial"». En: *Quaternary Climate in Western Mediterranean* (Ed. F. LÓPEZ VERA): 237-248. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.

- FRANKLIN, E. C., 1970: «Survey of mutants form and inbreeding depression in species of the family Pinaceae». *USDA For. Serv. Res. Paper SE-61*: 1-21.
- GAMBLES, R. L., & DENGLE, R. E., 1981: «The anatomy of the leaf of red pine, *Pinus resinosa*. II. Vascular tissues». *Can. J. Bot.* 60:2804-2824.
- GARCÍA ESTEBAN, A., & GUINDEO CASASUS, L., 1988: *Anatomía e identificación de las maderas coníferas españolas*. AITIM. Madrid, 153 pp.
- GARCÍA ESTEBAN, A., & GUINDEO CASASUS, L., 1989: *Anatomía de frondosas españolas*. AITIM. Madrid, 618 pp.
- KIMLOCH, B. B.; WESTFALL, R. D., & FORREST, G. I., 1986: «Caledonian scots pine: origin and genetic structure». *New Phytol.* 104: 703-729.
- KOSKI, V., 1971: «Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*». *Com. Inst. For. Fenn.*, 75.3: 1-20.
- KOSKI, V., 1973: «On self-pollination, genetic load, and subsequent inbreeding in some conifers». *Communic. Inst. For.*, 78.10: 1-42.
- KOZLOWSKY, T. T., 1949: «Light and water in relation to growth and competition of Piedmont forest tree species». *Ecol. Monog.*, 19: 207-231.
- KRAMER, P. J., & DECKER, J. P., 1944: «Relation between light intensity and rate of photosynthesis of loblolly pine and certain hardwoods». *Plant Physiol.*, 19: 350-358.
- LARCHER, W., 1975: *Physiological Plant Ecology*. Trad. española. Ediciones Omega, Barcelona.
- LERNER, L. M., 1954: *Genetic homeostasis*. John Wiley & Sons. New York.
- MAPA, 1988: *Mapa de cultivos y aprovechamientos de España*. Escala 1:1.000.000. Madrid.
- MERINO, J., 1987: «The cost of growing and maintaining levels of mediterranean plants». En: *Plant responses to stress* (Eds.: J. D. TENHUNEN, F. M. CATARINO, O. L. LANGE & W. C. OECHEL): 553-564. NATO ASI Series. Serie G: vol. 15. Springer Verlag. Berlin Heidelberg.
- PANSHIN, A. J., & DE ZEEUW, C., 1980: *Textbook of wood technology*. 4th ed. McGraw Hill. New York.
- SIAU, J. F., 1984: *Transport process in wood*. Springer Verlag. Berlin Heidelberg.
- TIGERSTEDT, P. M. A.; RUDIN, D.; NIEMELA, T., & TAMMISOLA, J., 1982: «Competition and neighbouring effect in a naturally regeneration population of Scots pine». *Silva fennica*, 16 (2): 122-128.
- WRIGHT, J. W., 1976: *Introduction to forest genetics*. Academic Press. New York.