

I. GENERALIDADES DE *Pinus pinea* L.

Descripción del taxón

Pinus pinea L. es un árbol conocido popularmente como pino piñonero en algunas zonas de Castilla, pino doncel en Cuenca, pino albar en la sierra de Guadarrama, Ávila, Valladolid, etc.; pino real o de la tierra en Andalucía; pino manso en Galicia, pino vero en Valencia; pi ve en Cataluña; pi ver en Baleares (Laguna, 1883).



FOTO 1 Ejemplar de *P. pinea* de mediana edad, con el fuste y la copa bien desarrollados.

Puede alcanzar los 25-30 m de altura o más en suelos profundos y fértiles, aunque normalmente oscila entre los 10-12 m en las estaciones menos fértiles y los 21-22 m en los rodales de muy buena calidad. Según nuestras experiencias la mayor o menor espesura de la masa no influye en la altura que alcanzan los ejemplares. Sólo en estaciones muy pobres donde la competencia por agua y nutrientes es muy alta, la densidad de la masa puede influir negativamente en el crecimiento en altura de sus individuos.

Dada la ausencia de masas naturales no intervenidas por el hombre es difícil estimar la longevidad media de la especie. Así, Agrimi y Ciancio (1994) aunque citan algunos ejemplares muy longevos, consideran que la vida media de la especie está en torno a los 200-250 años. En España, aunque es frecuente encontrar ejemplares aislados de 180-200 años, lo más

habitual es encontrar masas de una edad máxima entre los (80) 100-120 años, periodo en el que está establecido de manera general el turno de la especie. González Vázquez (1947) al

analizar el tronco de algunos árboles conservados en ciertas cañadas y veredas encontró que tenían más de 400 años. Feinbrun (1959) y Ceballos y Ruiz de la Torre (1979) estiman que el pino piñonero puede alcanzar los 400-500 años incluso más, especialmente en enclaves ecológicamente favorables.

Una de las características fisonómicas particulares que distinguen a este árbol es su inconfundible porte cuando es adulto, formado por un tronco grueso y cilíndrico y en la parte superior una amplia copa aparasolada, compuesta por gruesas ramas y denso follaje que con frecuencia causa la muerte de las ramillas inferiores internas.



FOTO 2 Sistema radical de *P. pinea*, compuesto por una raíz principal no muy profunda, de la que parten numerosas raíces horizontales situadas a varios niveles, las muy superficiales rebasan ampliamente la periferia de la copa. De las raíces horizontales parten otras verticales que profundizan buscando el agua en la época estival. En la foto de la derecha se aprecian mejor las raíces verticales.

Las raíces forman un complejo multiestratificado potente, compuesto de una raíz principal muy gruesa que aborta pronto y raíces secundarias laterales que se desarrollan horizontalmente. El sistema radical, además del imprescindible anclaje al suelo, está adaptado para extraer el agua que necesita el árbol de una notable profundidad. La importancia de la parte subterránea es tal que para que los árboles alcancen buen desarrollo de copa necesitan gran espaciamiento, para evitar la concurrencia de los sistemas radicales.

En algún caso, como en el pinar de Alberèse (Italia), De Philippis (1955) ha descrito la anastomosis de las raíces de muchos individuos. En este mismo pinar, Profili (1993) ha comprobado que la superficie que ocupa el sistema radical es mucho mayor que la cobertura de la copa, (en cuatro individuos, este autor ha encontrado que la superficie explorada por las raíces es, como promedio, 30 veces superior que la superficie de proyección de la copa, oscilando este valor desde 8,4 a 52,9). En suelos arenosos de la campiña onubense en los que aparece una capa de arcillas cementadas ferruginosas, la raíz principal encuentra dificultades para profundizar y es frecuente ver árboles arrancados por el viento, en los cuales se aprecia un sistema radical que no ha podido atravesar la capa de arcillas y que está, en general, muy poco desarrollado en comparación con el tamaño del pino.

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía

La corteza es pardo-rojiza y escamosa; posteriormente se va resquebrajando a medida que el individuo crece, convirtiéndose, cuando es adulto, en un ritidoma grueso gris-oscuro, con grandes placas de color rojo-ladrillo delimitadas por grietas profundas.

Presenta un crecimiento rápido, incluso hasta edades avanzadas. En su juventud tiene ramificación verticilada y copa esférica, elipsoidal y tangente al suelo en el árbol aislado, aunque frecuentemente la copa se encuentra modificada debido a las podas. A medida que crece, las ramas de cada nudo tienden a engrosar tanto como la guía o a veces más, dando así su característica copa en forma de corimbo (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979).



FOTO 3 Plantas de *P. pinea* de una savia, procedentes de regeneración natural. La malla ha protegido al regenerado del pastoreo y ha permitido el desarrollo del mismo.

Las ramillas son monocíclicas, de color gris-verdoso las del año. Los brotes son lampiños de color pardo, pasando posteriormente a verdoso. Las yemas son cilíndricas, apuntadas, no resinosas, recubiertas de escamas pardo claras, franjeadas de blanco y reflectas (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979).

En los brinzales de 1 ó 2 años las hojas son aciculares, cortas, azuladas y pestañosas. Los ejemplares jóvenes presentan dos tipos de hojas, ambas aciculares: unas solitarias de color gris

azulado, localizadas a lo largo de tronco y ramas y de tamaño mucho menor que las segundas, que son las únicas que presenta el árbol cuando es adulto.

Las hojas del árbol adulto tienen una vida media que oscila entre 3 y 4 años, son de color verde oscuro, ligeramente arqueadas, algo rígidas, pinchosas y ásperas en los márgenes. Miden de 10 a 15 cm de largo y 1,5 a 2 mm de ancho. Presentan epidermis gruesa con estomas poco evidentes en haz y envés, la cara interna es algo convexa y con canales resiníferos submarginales. Se disponen sobre pequeñas ramas (braquiblastos) agrupadas en pares mediante una pequeña vaina membranosa que las envuelve por su base.

Después de la aparición de las acículas adultas los árboles jóvenes presentan un crecimiento vigoroso con ocasional policiclismo, pero en árboles adultos, el crecimiento es fijo, rítmico, con las ramas laterales del año formando un único verticilo por brote (monociclismo).

El periodo de floración varía en función de la localización geográfica, pero en general abarca los meses de marzo a junio. En relación con otras especies próximas se ha observado que en un mismo lugar, la floración del pino piñonero suele producirse varias semanas después que la del pino negral (*Pinus pinaster*) o la del pino carrasco (*Pinus halepensis*).

Las primeras flores aparecen con la madurez sexual. *Pinus pinea* es una especie monoica, es decir presenta las flores de ambos sexos en el mismo individuo, pero agrupadas en inflores-



FOTO 4 A la izquierda, detalle de flores masculinas y femeninas. A la derecha, piñas en distintas fases de maduración.

cencias unisexuales separadas. Las flores masculinas son oblongo-cilíndricas, de 10-12 por 2-4 mm. Se disponen en gran número en espigas alargadas localizadas en la base de los brotes laterales y dominados del año. Los estambres son de color amarillo vivo, formados por una lámina redondeada y dentada con dos sacos polínicos que producen gran cantidad de polen.

Los conos floríferos femeninos aparecen en los ápices de los brotes dominantes, más vigorosos del año, debajo de las yemas. Son ovoideos, de 20 mm de largo, verdosos o rojizos, con ombligos agudos, no mucronados, solitarios o en escaso número y están ubicados sobre pedúnculos erectos.

La fenología del ciclo vegetativo y reproductivo está determinada por la temperatura del lugar y año, expresada como suma de grados día acumulados. Esta medida condiciona el momento de la brotación, la tasa de crecimiento y las fechas de la floración. Tanto la longitud final del brote vegetativo, como la presencia de primordios florales en su ápice están pre-determinadas por las condiciones climáticas durante la formación de la yema terminal que corona el brote del año anterior (Mutke *et al.*, 2001). La diferenciación de los estróbilos femeninos se produce a escala microscópica dentro de la yema durante el invierno, antes de iniciarse la elongación del brote.

La propia antesis se inicia con la aparición de las yemas florales subterminales, visibles en la punta del brote nuevo, cuando éste ha alcanzado el 50% de su elongación total. Durante las semanas siguientes, los estróbilos femeninos pasan por distintas fases hasta la separación de sus escamas ovulíferas para permitir la entrada del polen.

La polinización es anemófila, es decir la dispersión del polen se realiza por el viento. Para ello los granos de polen están dotados de unas estructuras que les permiten volar unas pocas semanas.

En general se produce un desfase en los periodos de receptividad entre distintos individuos de la masa, así como entre estróbilos a lo largo de la copa de cada árbol. La apertura de cada micropilo que absorbe el grano de polen hasta su cámara polínica dura muy pocos días. El fin de la floración y el cuajado de los estróbilos como consecuencia de la polinización se produce después de la elongación completa del brote que los porta, pero antes de que los calores del estío puedan dañar las estructuras aún no lignificadas (Francini, 1958; Abellanas y Pardos, 1989; Mutke *et al.*, 2001).

Desde un punto de vista práctico estas fases fenológicas se pueden diferenciar mediante un seguimiento macroscópico, que permite identificar el momento oportuno para efectuar las polinizaciones artificiales o controladas. Una aplicación repetida del polen durante la fase de escamas separadas del estróbilo garantizará una polinización efectiva, a pesar del corto periodo de apertura de los micrópilos.

La figura 1-1 representa un resumen del ciclo reproductivo de la especie, que ha sido simplificado de la descripción de Abellanas (1990). Las referencias a los meses del año fueron

obtenidas en una plantación injertada situada en una zona costera de Castellón, fuera del área natural de la especie. En el clima más continental y frío del interior de la península Ibérica, la brotación de las yemas del árbol y la floración se retrasan varios meses, ocurriendo la floración entre mayo y junio, igual que en los pinares italianos (Mutke *et al.*, 2001; Francini, 1958). Por su clima más caluroso, la fenología de los pinares de la Baja Andalucía está más cerca de los datos representados en la figura, aunque no disponemos de datos medidos en campo.

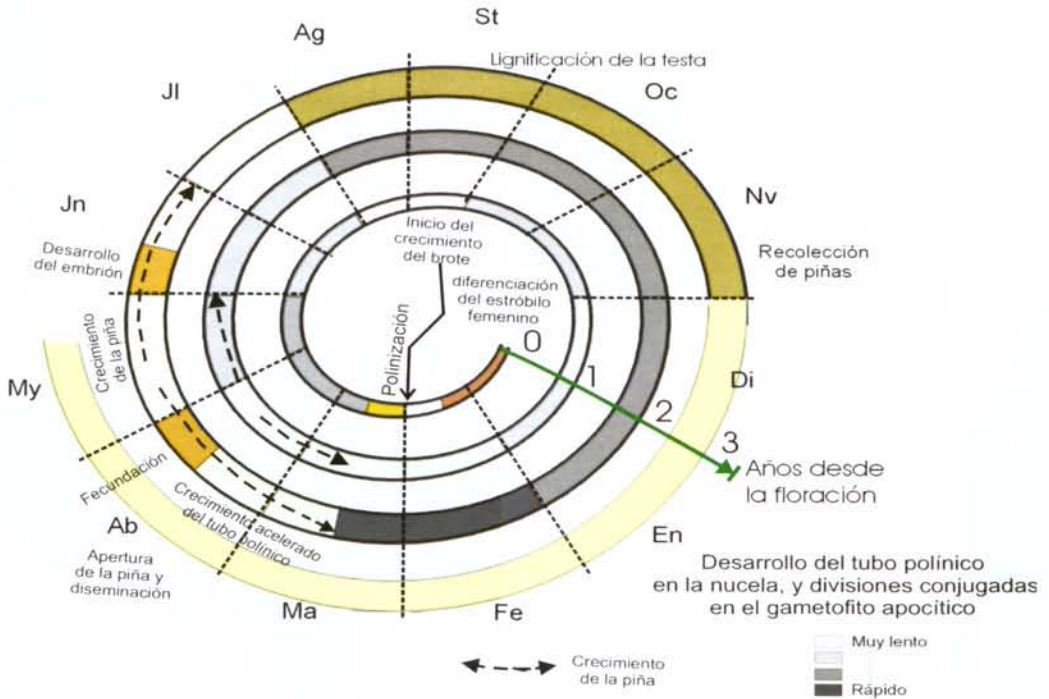


Figura I-1. Ciclo reproductivo de *Pinus pinea* L. (adaptado de Abellanas, 1990)

Después de la polinización se inicia un ciclo que se prolonga por espacio de 3 años. Esta es la característica más llamativa del ciclo reproductivo del pino piñonero que lo distingue de las otras especies del género, en las que usualmente la maduración se produce en dos años. Las piñas o estróbilos femeninos de un año son globosas, erectas, patentes, casi horizontales o colgantes dispuestas sobre un pedúnculo grueso, subsentadas, solitarias u opuestas, rara vez verticiladas por 3 (López, 1982; Amaral Franco, 1986). Cuando alcanzan la madurez las piñas son de gran tamaño: 8-14 por 7-10 cm, gruesas, globosas o aovado-globosas de color pardo-rojizo y lustrosas, con escamas ensanchadas hacia el ápice y escudete ancho romboidal, algo prominente con apófisis gruesas y ombligos obtusos, poco prominentes de color grisáceo en el centro. Cada escama lleva dos grandes piñones.



FOTO 5 Las piñas se abren y caen los piñones, que al ser gruesos y con un ala muy corta tienen poca capacidad de autodispersión.

La dehiscencia de la piña se produce por deshidratación en la primavera-verano del año siguiente de la fecundación, es decir al tercer año desde la polinización: las piñas se abren y caen los piñones. Éstos son gruesos y presentan un ala rudimentaria ancha, articulada y muy corta que se desprende con mucha facilidad. Estas características limitan considerablemente su capacidad de autodispersión, por lo que la diseminación lejos del árbol madre la realizan pequeños roedores y aves.

El peso y el tamaño de los piñones es muy variable. Depende de una serie de parámetros ecológicos (calidad del suelo, clima y localización geográfica, prácticas selvícolas, etc.) y del régimen de producción, irregular en el tiempo (vecería), con ciclos de escasa fructificación y años en los que se produce una gran cantidad de piñas y piñones. Los datos con los que contamos de diversas campañas de muestreo indican que hay algunas diferencias entre las poblaciones españolas: las del centro (Valladolid, Madrid, Ávila) presentan valores algo mayores que



FOTO 6 Los piñones, recién salidos de la piña, están cubiertos por un polvillo negro que tizna la mano al tocarlos. Con la manipulación pierden la capa de polvo y toman un color marrón. La almendra está envuelta en un tegumento de color marrón que la protege.

las de Cataluña y el suroeste andaluz. En general no suelen alcanzar 1 gr de peso y miden aproximadamente de 15-20 mm por 7-9 mm. Son ovoides-oblongos, aplanados en su cara inferior, con cubierta o testa leñosa muy dura recubierta en la madurez de un polvillo de color pardo oscuro o negruzco-amorado. Su almendra está envuelta en un tegumento muy fino, es comestible de textura harinosa y resinosa (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979; Amaral Franco, 1986). Los piñones han sido muy apreciados desde antiguo para la alimentación humana, hecho al que alude su nombre específico *pineae* con el que los romanos denominaban a las piñas (López, 1982).

Taxonomía, variabilidad genética y sus aplicaciones

Taxonomía

Pinus pinea L. (1753)¹ es una especie de la división *Spermatophyta Gymnospermae*, orden *Coniferales*, familia *Pinaceae*, subfamilia *Pinoideae*, género *Pinus* del que es la especie típica ("pinus" era nombre latino exclusivo del pino piñonero). Este género, dentro de las coníferas es el que cuenta con un mayor número de especies y el que está más ampliamente distribuido en el Hemisferio Norte. Su clasificación ha sido analizada por diversos investigadores. Nosotros vamos a seguir la establecida por Price *et al.* (1998), en la que *Pinus* está dividido en dos linajes discretos: subgéneros *Pinus* y *Strobus*. *Pinus pinea* forma parte del subgénero *Pinus*, sección *Pinus*, con los otros pinos de la región Euroasiática, y en la subsección *Pineae*, donde es la única especie.

Las especies mediterráneas tienen gran interés evolutivo porque sirven de nexo de unión a distintos linajes y a distintas regiones geográficas (Mirov, 1967; Klaus, 1989). Centrándonos en dichas especies, los caracteres vegetativos y reproductivos manifiestan una gran similitud de *Pinus pinea* con *P. canariensis*, *P. pinaster* y con el complejo *halepensis* (Klaus, 1989). Sin embargo, tanto la piña grande con piñones de maduración trienal y el porte singular de los árboles, han dado lugar a diversas especulaciones sobre su origen y función adaptativa, al alejarse del patrón de los demás pinos mediterráneos y parecerse más a un árbol de sabana que a una conífera (Francini, 1958; Giordano, 1967).

Para comprender estas relaciones podemos acudir a los estudios² filogenéticos realizados a partir de secuencias de ADN, que no apoyan la separación del pino piñonero de los demás pinos mediterráneos en una subsección propia (Figura 1-2). La clasificación taxonómica de Price *et al.* (1998), que sigue la establecida por Little y Critchfield (1969), presenta el problema de

1 Entre sus sinonimias se encuentran: *Pinus fastuosa* Salisb. 1796, *Pinus domestica* Matthews, *Pinus sativa* Garsault 1764 (nom. inval.), *Pinus maderiensi* Ten. 1854, *Pinus pinea* var. *maderiensi* (Ten.) Carr. 1867, *Pinus esculenta* Opiz 1839, *Pinus sativa* C., Bauh., *Pinus domestica* Mathiol, *Pinus umbraculifera* Tournef.

2 Liston *et al.* (1999) realizaron un estudio con 47 especies de todas las subsecciones del género analizando una región muy conservada del ADN del ribosoma nuclear. Wang *et al.* (1999) analizan 32 especies de pinos euroasiáticos en 4 regiones del ADN de cloroplasto.

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía

que define para los pinos mediterráneos secciones que no son grupos monofiléticos. Es decir, considerando el árbol filogenético como una expresión de la historia evolutiva del género, algunas ramas no se corresponden con la división en secciones, y especies de la misma sección pueden pertenecer a distintas ramas del árbol filogenético. Por lo que, según estos análisis parecería lógico incluir a *Pinus pinea* en una única subsección *pinaster-pinea*.

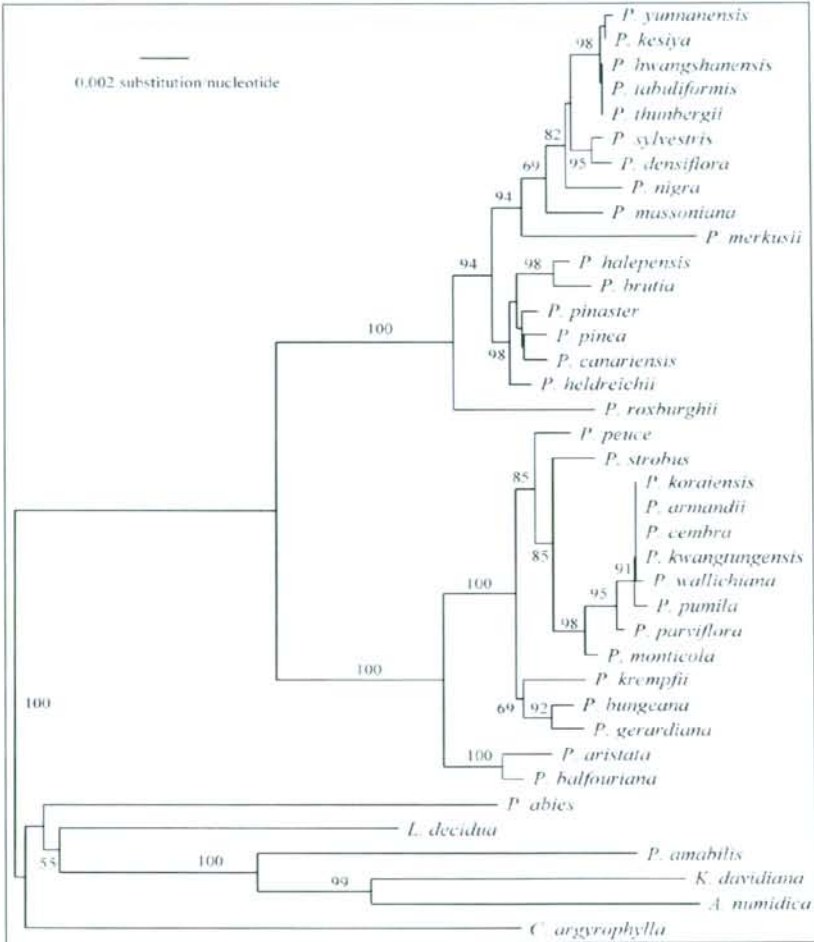


Figura 1-2. Árbol filogenético de 32 especies euroasiáticas de *Pinus* basado en el análisis de secuencias de AND de cloroplasto [Wang *et al.*, 1999]. Las longitudes de las ramas son proporcionales a las distancias entre las especies (sustituciones de bases existentes en las secuencias de ADN analizadas), y los números indican la confianza basada en 1000 repeticiones realizadas por la técnica de Bootstrap.

Otros trabajos similares apoyan estas conclusiones, entre ellos, un estudio de 18 especies del subgénero *Pinus* comparando amplias zonas del ADN de cloroplasto (Krupkin *et al.*, 1996), el estudio de las características serológicas de las especies europeas (Prus-Glowacki *et al.*, 1985), y uno de los fragmentos de restricción del ADN mitocondrial y de cloroplasto (Strauss y Doerkens, 1990). En todos los casos, se muestra la estrecha relación entre *Pinus pinea* y las otras especies mediterráneas, y unas mayores diferencias con *P. sylvestris* y *P. nigra*. Las diferencias se interpretan como resultado de la diferenciación temprana de las especies mediterráneas de las otras especies eurosiberianas (*sylvestris*, *nigra*, *uncinata*, *mugo*), probablemente durante el comienzo del Cretáceo (Axelrod 1986; Klaus 1989; van der Burgh 1973; Millar 1993; van der Burgh, 1984; Schirone *et al.*, 1991).

Variabilidad genética

La variabilidad genética puede ser analizada a dos niveles, entre y dentro de las poblaciones de la especie. Estos dos niveles tienen gran importancia práctica. Nos indican respectivamente la variación geográfica existente (que tiene que ver con la variación entre procedencias, y el uso de poblaciones en repoblaciones), y la variación individual (que se suele utilizar en los programas de selección clonal o familiar). En este apartado se analizan ambos, por su importancia para la utilización de la especie en programas de reforestación, en programas de mejora, o en la gestión selvícola de las masas.

Como se ha visto anteriormente, la diferenciación de *Pinus pinea* del resto de las especies mediterráneas del género no es tan evidente, considerando caracteres morfológicos, fisiológicos o utilizando marcadores moleculares. Filogenéticamente, *P. pinea* se sitúa en el grupo de *P. halepensis*, *P. pinaster* y *P. canariensis*. Sorprenden, por tanto, las grandes diferencias que existen en los niveles de diversidad genética del pino piñonero respecto a las otras especies citadas.

Los estudios con marcadores genéticos muestran una escasa variación de *P. pinea*. Por ejemplo, las isoenzimas, ampliamente utilizadas en el análisis de variabilidad genética del género *Pinus*, manifiestan un nivel muy bajo de polimorfismo cuando se analizan poblaciones de todo el área de distribución de la especie (Fallour *et al.*, 1997).

Marcadores *a priori* más polimórficos como son los microsatélites del cloroplasto también han mostrado una sorprendentemente baja variabilidad genética en todo su área de distribución natural (Anzidei *et al.*, 2001). Estos sorprendentes resultados en una especie tan ampliamente distribuida, se han interpretado como resultado de una fuerte reducción de las poblaciones de pino piñonero durante las glaciaciones, y una posterior extensión por plantación durante la época romana. Aunque la existencia de una enorme disminución en el tamaño de las poblaciones (*Cuello de botella*) es necesaria para explicar esta enorme reducción de la diversidad, no parece adecuada la explicación de una repoblación masiva a partir de un extremadamente reducido número de individuos. Más, si tenemos en cuenta que se trata de una especie con abundante producción de piñas, en la que es fácil recolectar grandes cantidades de

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía

piñones de pocos árboles, y que bastan lotes de semilla obtenidos de tan sólo 50 árboles (como es el caso de muchos huertos semilleros) para mantener unos niveles de diversidad similares a los de las poblaciones naturales. Una posible explicación podría estar asociada al sistema de dispersión natural de la semilla. Los piñones no son dispersados por el viento como las semillas pequeñas y aladas de sus congéneres, sino que son recolectados y transportados por animales, sobre todo por aves, en ocasiones a distancias considerables, para ser enterrados como depósitos de reserva (Lanner, 1998; Izhaki, 2000). Así otras especies (al menos dos) con niveles de polimorfismo prácticamente nulo (como son *P. torreyana* y *P. sabiniana*) comparten con *Pinus pinea* una serie de características como son: piñón grande trienal, sin alas funcionales; dispersión avícola -por lo tanto, no dispersa sino aglomerada de las semillas recolectadas en el mismo vuelo (p.ej., de misma madre)-; corologías muy restringidas a unas zonas costeras y a chaparrales de quercíneas del pie-de-sierra bajo climas mediterráneas y con el fuego como modulador del paisaje (South California) (Ledig, 1998).

En España, se han abordado estudios con distintos marcadores en varias poblaciones (Figura I-3) para analizar los niveles de diversidad de la especie.



Figura I-3. Distribución de *Pinus pinea* en España y localización de poblaciones analizadas mediante marcadores y en ensayos en condiciones controladas (PT-Portr, y HU-Lom, no analizadas con marcadores moleculares)

Los estudios de variación utilizando marcadores moleculares (ADN de cloroplasto -Gómez *et al.*, 2002-; e isoenzimáticos -datos no publicados-), coinciden con el rasgo general de la especie en un bajo nivel de polimorfismo (Tabla I-1). Mediante los análisis de ADN de cloroplasto se pueden determinar para cada población diferentes parámetros de diversidad, como son el número de haplotipos (o *tipos* diferentes detectados), el nivel de polimorfismo (medido como aquellos *tipos* que se presentan en más de 5% de las muestras), el número efectivo de haplotipos, o la diversidad genética. La distancia genética media entre los distintos haplotipos existentes en cada población, indican la homogeneidad existente en cada una de ellas.

Tabla I-1 Parámetros de diversidad de 10 poblaciones españolas de *Pinus pinea* L (Gómez *et al.* 2002). (Nhap-Número de haplotipos presentes en cada población, Ne - número efectivo de haplotipos, P-Número de regiones polimórficas, h-Diversidad genética, D²- Distancia entre los haplotipos)

Población	Código	Región de procedencia	Nhap	Ne	P	h	D ²
Tordesillas	VA-Tor	1	3	1,29	2	0,24	0,053
Cadalso	M-Cad	2	6	2,09	4	0,54	0,120
Hoyo de Pinares	AV-Hoy	2	2	1,99	1	0,52	0,053
Tarazona	AB-Tar	3	1	1,00	0	0,00	0,000
Doñana	HU-Doñ	4	4	2,09	3	0,54	0,115
Cartaya	HU-Car	4	3	2,32	1	0,59	0,083
Palafrugell	GI-Pal	6	4	2,80	2	0,67	0,114
Bihar	A-Bih	A	3	1,19	3	0,16	0,018
Bogarra	AB-Bog	B	3	2,46	1	0,62	0,164
Garrovillas	CC-Gar	C	4	1,30	2	0,24	0,028
MEDIA			3	1,85	2	0,41	0,07

Se observa que el número medio de haplotipos (con una media de 3 por población) es muy inferior al obtenido con los mismos marcadores en otras especies. Así por ejemplo la media en poblaciones de *P. halepensis* es 5 y en poblaciones de *P. pinaster* es 15 (datos no publicados). Como consecuencia, el resto de los parámetros de diversidad basados en las frecuencias de los haplotipos muestran también valores sensiblemente bajos en el caso de *P. pinea*.

La reducida diversidad existente es especialmente manifiesta en las poblaciones de Tarazona y Hoyo de Pinares, mientras que los niveles de variación son similares para el resto de las poblaciones. Como ocurre en otras especies de la cuenca mediterránea como *P. pinaster* (González-Martínez, 2001) o *Quercus suber* (Jiménez, 2000) algunas de las poblaciones marginales de *Pinus pinea* presentan niveles de diversidad similares a las poblaciones cercanas (o mayores como en el caso de Bogarra respecto a la población de Tarazona de la Mancha), el

tamaño efectivo de estas poblaciones marginales ha podido incidir menos en sus niveles de diversidad que factores históricos (Ellstrand y Elam, 1993).

La diferenciación entre las poblaciones, es decir la proporción de la variación genética existente entre las poblaciones analizadas en comparación a la variación total de la especie, en el caso de *Pinus pinea* es del 3,8%, notablemente inferior al de otras especies como *Pinus halepensis* y *Pinus pinaster* localizadas en la misma zona (superior al 15%).

En concreto, las poblaciones de Andalucía tienen unos niveles de diversidad más elevados que el resto de las analizadas. Probablemente, en este área geográfica, al sur de la península Ibérica, se debieron localizar refugios durante el periodo glacial (Jiménez *et al.*, 2001) y presumiblemente *P. pinea* debió conservarse en ellos. Sin embargo, es necesario ampliar el muestreo realizado para que los resultados sean aplicables en la mejora, conservación y gestión de los recursos genéticos de la especie.

Los caracteres moleculares permiten evaluar los niveles de diversidad de las distintas poblaciones, así como las relaciones genéticas entre ellas. Sin embargo, no nos ofrecen información sobre la variabilidad que presentan en caracteres relacionados con el crecimiento y adaptación. En este sentido, los ensayos de campo (por ejemplo los ensayos de procedencia, en los que se comparan en el mismo sitio lotes de semillas procedentes de distintas localidades) resultan insustituibles.

A partir del mismo material que en los análisis de marcadores, se ha estudiado el comportamiento de 12 procedencias de *Pinus pinea* en cámara climática. En estos ensayos se simula un ciclo anual de crecimiento durante las 12 semanas que dura el ensayo. Tal como se observa en la tabla I-2, existe variación genética en diversos caracteres como la germinación, el crecimiento en diámetro y la biomasa, aunque no en la altura al final de la primera estación de crecimiento (Amaro *et al.*, 2000).

Aunque hay pocas poblaciones de la misma región de procedencia, para los dos casos en que esto ocurre (regiones 2 y 4), se observa que las diferencias entre poblaciones de la misma región son bastante acusadas. Estos resultados no se pueden generalizar y es necesario ampliar el muestreo de las poblaciones analizadas antes de obtener resultados que puedan aplicarse en la práctica selvícola.

La red de ensayos establecida a partir de un proyecto de colaboración de FAO-Silva Mediterránea ha permitido obtener resultados sobre el crecimiento. En vivero, las procedencias de grupos geográficos similares presentan un crecimiento y características de semilla similares (Carneiro *et al.*, 2000c). A los cinco años de edad, en Portugal las procedencias no presentan grandes diferencias en crecimiento y en floración (Carneiro *et al.*, 2000 a,b). Los ensayos de procedencias establecidos en España, a los 4 años de edad muestran diferencias significativas para tres caracteres (altura, diámetro basal y policiclismo), con un efecto de la procedencia que osci-

Tabla 1-2. Valores medios de diversas variables en un ensayo de procedencias de *Pinus pinea* en cámara climática a las 12 semanas del inicio del experimento (Amaro *et al.*, 2000)

Procedencia	Reg. Proc.	Emergencia	T40	Peso seco parte aérea	Peso seco sistema radical	Altura	Diámetro	Superficie foliar
		%	días	G	g	cm	mm	mm ²
Tordesillas	1	95,83	12,16	0,16	0,18	7,34	0,64	9.845,4
Hoyo de Pinares	2	97,92	11,40	0,14	0,29	7,18	0,78	12.768,5
Cadalso	2	76,39	15,95	0,15	0,18	6,86	0,63	9.938,0
Tarazona	3	87,50	12,33	0,19	0,18	6,98	0,62	9.827,8
Cartaya	4	95,83	14,21	0,11	0,17	7,23	0,57	8.149,9
Doñana	4	97,92	11,72	0,03	0,03	7,85	0,64	9.914,3
Lomas	5	50,46	17,21	0,09	0,10	7,83	0,68	9.502,6
Palafrugell	6	69,21	16,61	0,04	0,05	7,88	0,58	9.731,8
Bihar	A	79,86	10,49	0,08	0,37	6,81	0,53	9.917,7
Bogarra	B	36,11	19,44	0,09	0,10	7,55	0,71	9.203,2
Garrovillas	C	78,01	11,12	0,09	0,18	7,27	0,76	9.320,0
Portugal	Port	60,19	13,11	0,06	0,07	7,42	0,67	11.069,3
Significación		Si	Si	Si	Si	No	Si	Si

T40: días transcurridos hasta alcanzar el 40% de la emergencia.

la del 4-6% dependiendo del carácter (Sada *et al.*, 2000). Estos ensayos, dada su edad, no nos ofrecen ninguna información sobre las diferencias existentes en la floración y fructificación de la especie.

Es decir, existen diferencias significativas en algunas características de crecimiento, pero no sabemos todavía hasta que punto las diferencias observadas en las variables relacionadas con la producción de piña son debidas a características genéticas de las masas o a las condiciones climáticas en las que se desarrollan.

Como conclusión sobre la variación geográfica de la especie, podemos señalar que se ha comprobado que sólo una pequeña parte de la variación total de la especie corresponde a diferencias geográficas (menos que en otras especies). Sin embargo, todavía hay una parte significativa de la variación atribuible a las poblaciones. Debe estudiarse este aspecto con mayor profundidad, puesto que los efectos derivados de una transferencia de semilla errónea, trascienden más allá de nuestra generación.

Los caracteres de floración y fructificación sí se han analizado al estudiar la variación entre árboles de la misma zona. Los ensayos clonales (en los que se colocan copias vegetativas obtenidas por injertos de árboles seleccionados por su producción de piña), nos ofrecen informa-

ción sobre el grado de control genético de la producción de piña, así como de otros caracteres relacionados con el crecimiento. En España se han realizado diferentes selecciones de árboles grandes productores de piña, en diversas regiones de procedencia, y entre ellas en las poblaciones de Andalucía. Los resultados indican la existencia de variación genética en la producción de piña. El genotipo, además del ambiente, condiciona enormemente la producción de piña.

Los ensayos de progenies, en los que se utilizan lotes de semilla de padre o madre conocida, permiten obtener estimaciones del grado de control genético de los caracteres, así como de la variabilidad entre árboles. Actualmente se dispone de algunas estimaciones que indican un elevado control genético de la floración y fructificación en el caso de clones de *Pinus pinea*. Este elevado control genético de la floración y fructificación es el que permite asegurar la eficacia de la selección y mejora de la producción de piña.

Aplicaciones prácticas: mejora genética

Las regiones de procedencia de *Pinus pinea* L.

Las regiones de procedencia son el primer paso en un sistema de certificación de material de reproducción, al permitir identificar fácilmente la zona de donde procede un material para su uso en repoblaciones. Según la Directiva 99/105/CE del Consejo sobre comercialización del material forestal de reproducción, "para una especie o una subespecie determinada, la región de procedencia es la zona o el grupo de zonas sujetas a condiciones ecológicas suficientemente uniformes en las que se encuentran fuentes semilleras o rodales selectos, que presentan características fenotípicas o genéticas semejantes, teniendo en cuenta límites de altitud, cuando proceda".

Su utilidad se deriva de que el material identificado y seleccionado (ver apartado siguiente) ha de hacer referencia a la región de procedencia de la cual procede. Es decir, estas regiones constituyen el punto de partida en un sistema de comercialización, y por tanto no intentan sustituir a otras divisiones ecológicas de la especie. Estas regiones constituyen unas grandes zonas en las que se realiza la identificación y selección del material de base que se incluye en el Catálogo Nacional. Por ejemplo, podremos elegir entre semilla de la región *Meseta Castellana*, *Cataluña interior*, etc. lo que facilita en un primer paso la elección del material más adecuado para nuestras necesidades. Esta utilidad para el usuario, es la que ha conducido a que en la mayoría de los países se cuente con una división en regiones de procedencia para la selección y utilización del material de reproducción (FAO, 1997).

En España (figura I-4) se han delimitado 11 regiones de procedencia (de ellas 4 de área restringida), basándose en criterios geográficos, climáticos y edáficos (Prada *et al.*, 1997). La descripción de las regiones de procedencia es necesaria para comprender sus características diferenciales, y por tanto hacer un uso correcto de ellas. Esta descripción se recoge detallada-

mente en otras monografías (Prada *et al.*, 1997; Gordo y Mutke, 1999), por lo que aquí sólo haremos mención a las presentes en Andalucía.

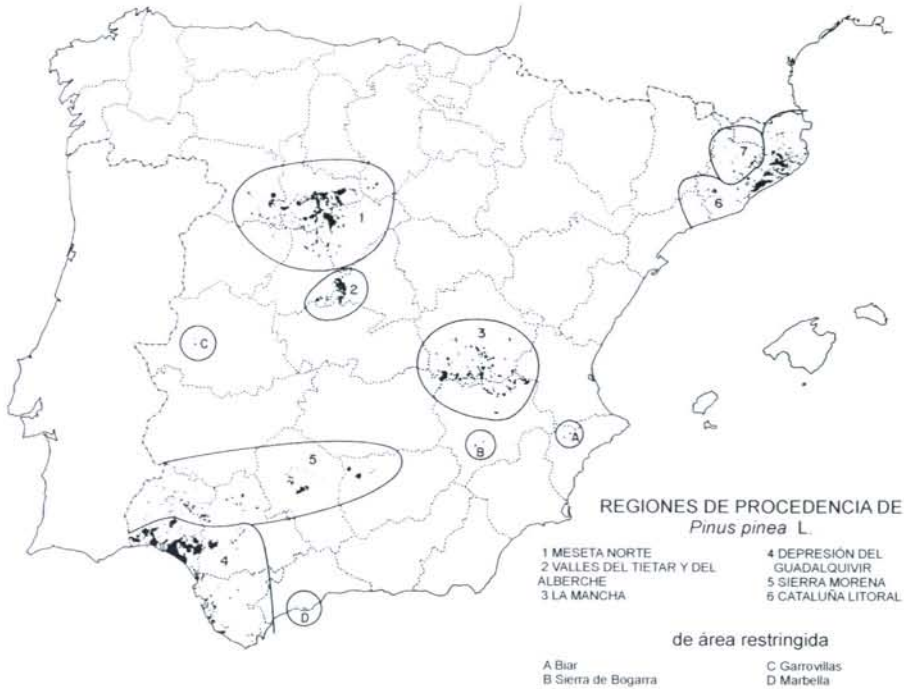


Figura I-4. Regiones de procedencia de *Pinus pinea* L. en España (Prada *et al.*, 1997)

En Andalucía se encuentran presentes 3 regiones de procedencia, de ellas una de área restringida:

- 1.- La Depresión del Guadalquivir (Región n.º 4), incluye los pinares que ocupan las dunas y los sedimentos de la planicie del Golfo de Cádiz, formando una mancha continua en la llanura onubense y más dispersa en la provincia de Cádiz.
- 2.- Sierra Morena (Región n.º 5) incluye a los pinares localizados en la zona occidental de la Cordillera Mariánica, que comprende el norte de las provincias de Huelva, Sevilla, Córdoba y noroeste de Jaén, y algunas manifestaciones puntuales en el sur de Badajoz. En su conjunto aparece como un área dispersa y fragmentada. La altitud a la que se encuentran las masas es mayor que en la región anterior, por encima de los 200 m.

- 3.- La población de Marbella (Región D) es una población de tamaño muy reducido, claramente separada del resto de las poblaciones, y cuyo principal objetivo es la conservación de recursos genéticos.

Material forestal de reproducción y su uso

Para lograr tanto el establecimiento de nuevas poblaciones, como su mejora y conservación, es necesario comprender el proceso cíclico de regeneración como uno de los aspectos esenciales de una práctica selvícola correcta. Esta regeneración se logra tanto favoreciendo los procesos naturales (a través de la gestión selvícola) o artificiales (a través de plantaciones o siembras). Las características de las semillas o plantas (es decir del *material forestal de reproducción*) que van a intervenir en este proceso son esenciales en la configuración de los futuros pinares. Su diversidad, adaptación y adaptabilidad, y muchas de las propiedades de las masas resultantes (entre las que se encuentran el crecimiento y la producción de fruto) están controlados genéticamente y son rasgos intrínsecos del material de reproducción, y condicionado por el sitio en el que se va a utilizar.

Las regiones de procedencia constituyen el punto de partida para la definición del material de base. El material de base está constituido por masas, rodales, bancos clonales, etc. de los que se puede obtener y comercializar el material de reproducción (frutos, semillas, plantas, partes de plantas) para su utilización en operaciones selvícolas o en repoblaciones. Los materiales de base aprobados se publican en el BOE y se incluyen en un Catálogo Nacional (existe una descripción más detallada en Martín *et al.*, 2001 y Alía *et al.*, 1998).

Pinus pinea es un caso especial dentro del Catálogo. Si comparamos con otras especies de pinos, se observa cierta escasez de materiales de base aprobados (Tabla I-3). Esto se debe a dos motivos principales: la tardía regulación de esta especie por la normativa española, y el énfasis en la producción de piñón en la mayoría de los trabajos de mejora genética realizados en nuestro país. En este sentido, las normas internacionales que regulaban la comercialización de los materiales de reproducción, solo habían previsto como caracteres objeto de selección a la producción de madera y la adaptación. Gracias a la presión de los países Mediterráneos, las normas que regulan a partir de 1/01/03 la comercialización de estos materiales (OCDE y Directiva 99/105/CE del Consejo) han incluido modificaciones importantes, admitiéndose como objeto de selección otros caracteres como la producción de piñón, la producción de corcho en el caso del alcornoque, etc.

Los materiales de reproducción en *Pinus pinea* pueden pertenecer a distintas categorías³:

- **Categoría identificada:** procedentes de fuentes semilleras, es decir de montes en los que se ha determinado su origen. Es la categoría básica, al no requerir ningún requisito, excepto la

³ La Aplicación de la Directiva es obligatoria a partir de 1/01/03. Consideramos que es la referencia válida para todo el Catálogo, aunque muchas de las actuaciones de mejora se han realizado bajo otras normas, como se recoge en la tabla I-3.

Tabla I-3: Situación actual del CNMB para las especies de *Pinus* incluidas en la legislación (Martín et al., 2001, actualizado a 28/02/2002).

ESPECIE	n° de Regiones de Procedencia	Material de Reproducción Identificado		Material de Reproducción Seleccionado					
		Fuentes semilleras		Rodales selectos		Huertos semilleros		APROBACIÓN	
		N°	ha	N°	ha	N°	Ha	OOMM Fecha	BOE Fecha
<i>Pinus pinea</i> (2)	11	45	27.244	13	571	-	-	-	-
<i>Pinus canariensis</i> (2)	6	20	45.962	-	-	-	-	-	-
<i>Pinus halepensis</i> (2)	18	242	239.638	-	-	-	-	-	-
<i>Pinus nigra</i> (1)	10	113	105.924	24	14.894	3	6,6	28/09/99	07/10/99
<i>Pinus pinaster</i> (2)	1	-	-	28	106	1	3,2	11/01/01	26/01/01
	26	221	238.156	26	1.974	-	-	07/02/01	28/02/01
<i>Pinus sylvestris</i> (1)	17	130	192.142	30	12.050	2	7,0	28/12/99	07/10/99
<i>Pinus uncinata</i> (2)	5	10	24.608	-	-	-	-	-	-

(1) Especie incluida en la OM 21/01/89; BOE n° 33, 8/02/89

(2) Especie incluida en el RD 1356/98; BOE n° 153, 27/07/98

Nota: A partir de 1/01/03 todas las especies se rigen por la Directiva 99/105/CE del Consejo

declaración del origen de la masa (que para masas naturales será el de su región de procedencia). Todavía falta incluir masas de muchas de las regiones de procedencia, entre ellas de las Andaluzas.

- **Categoría seleccionada:** procedente de fuentes semilleras o rodales selectos que manifiestan una superioridad fenotípica respecto a las masas de la misma región de procedencia en los caracteres objeto de selección, y que para esta especie estarán relacionados con su adaptación, crecimiento y producción de fruto. Recientemente se han aprobado los primeros rodales selectos para la especie en España. Todavía no han sido propuestas⁴ masas de pinares piñoneros de la regiones de procedencia andaluzas para su incorporación en el Catálogo Nacional, a pesar de la gran importancia en superficie, singularidad ecológica, diversidad y conservación de recursos genéticos autóctonos de estas procedencias para el conjunto de la especie.

- **Categoría cualificada:** en los que se ha realizado una selección fenotípica de cada uno de los componentes que integran los materiales de base. Principalmente derivada de los huertos semilleros o bancos clonales de la especie. Actualmente no hay material de base aprobado.

⁴ La propuesta y aprobación de muchos de los materiales de base corresponde a los distintos organismos responsables de las distintas Comunidades Autónomas. El Catálogo Nacional recoge los materiales propuestos por dichos Organismos y que una vez aprobados se publican en el BOE para su conocimiento.

En Andalucía, se desarrolla un programa de mejora para la especie (Abellanas *et al.*, 1997). Este programa de mejora (Abellanas *et al.*, 1993) define tres zonas de actuación (o zonas de mejora) que reflejan las diferencias ecológicas y una presumible fuente de variación: La zona de mejora 1 se corresponde con la Depresión del Guadalquivir, la zona 2 con Sierra Morena, y la 3 se reparte entre las dos regiones. Se efectuó la selección de fenotipos grandes productores de fruto, utilizando como parámetro la producción en peso de piñón por metro cuadrado de proyección horizontal de copa; se dispone de 100 árboles seleccionados y se han establecido cuatro parcelas de ensayo de clones, con dos parcelas en cada una de las regiones, que permitirán, por la vía vegetativa, caracterizar los mejores individuos en cuanto a la producción de fruto.

También se han realizado actividades encaminadas a la instalación de bancos clonales en otras regiones. Así, dentro de la Región de la Meseta Castellana, se inició en 1989 la selección de fenotipos grandes productores de fruto, para encontrar genotipos valiosos como productores de piñón. En 1992 se estableció en la provincia de Valladolid un banco clonal de propagación con 100 clones para su caracterización productiva; esta subpoblación se ha depurado y ampliado, instalando en el 2000 dos bancos clonales de forma simultánea en el CNMGF de Puerta de Hierro (Madrid) y en Valladolid (Gordo y Mutke, 1999).

De la región Valles del Tiétar y del Alberche se dispone de una población formada por 78 árboles instalada en un banco clonal en el CNMGF de Puerta de Hierro, Madrid (Iglesias, 1997).

En La Mancha, se dispone de un banco clonal establecido en 1995 que incluye 78 clones de las provincias de Albacete y Cuenca.

Por último, en Cataluña, desde 1993 se inició la selección y establecimiento de un banco clonal de propagación en el CNMGF de Puerta de Hierro (Madrid), formado por 90 clones, y otro de menor número de clones en el de la Almoraima (Cádiz) (Iglesias, 1997).

- **Categoría controlada:** derivada de la propagación de clones o de semillas de materiales que demuestren su superioridad en ensayos genéticos. Dado el coste de la evaluación y obtención, se justifica para producir material clonal que tendría un uso eminentemente agronómico. Actualmente no hay material de base aprobado.

Un aspecto importante, que condiciona el uso de los bancos clonales es la forma de propagación clonal de *Pinus pinea*. Así, en uno de los bancos de la Meseta Norte se ha evaluado la producción de piña de 90 clones durante ocho años, lo que permite efectuar la selección de árboles superiores a la media de producción del propio banco. Si consideramos que los ensayos para la selección de los cinco clones mencionados anteriormente se han realizado con arreglo a los protocolos establecidos en la directiva Europea, estos clones darían lugar a material "controlado" (máximo nivel de selección). En este tipo de material se comercializaría el injerto (bien como planta ya injertada, o en forma de yema -púa- del clon para realizar el injerto), y por tanto la cantidad de este material que se puede generar de cada clon es muy limitada (no

superior a 4000 púas con la cantidad actual de individuos). El problema que se plantea es aumentar, mediante técnicas de reproducción vegetativa en cascada, el número de material que se pueda obtener de estas plantaciones.

Además, los árboles injertados deberían ser evidentemente objeto de un cultivo leñoso de carácter agronómico más que de un uso forestal, para optimizar su producción de piñón y recuperar la inversión realizada (Mutke *et al.*, 2000). Nunca podrán sustituir el empleo de material forestal de reproducción (semilla, planta) del pino piñonero utilizado actualmente en una selvicultura y restauración de cubierta vegetal, que tiene objetivos múltiples y especialmente de protección, lo que requiere una adaptación y base genética suficientemente amplia.

Una vez analizadas las distintas regiones de procedencia, así como los materiales de base disponibles la decisión de los materiales de reproducción más adecuados para cada sitio corresponde a los técnicos basándose en múltiples criterios, tanto productivos, de protección, y también de disponibilidad de materiales.

Para ayudar en la decisión, se presenta un ejemplo de recomendaciones de uso de los materiales de reproducción de *Pinus pinea*, según la región en la que se van a utilizar. Esta recomendación se basa en las Regiones de utilización de material forestal de reproducción (García del Barrio *et al.*, 2001), a las que se ha asignado una región de procedencia de *Pinus pinea* basándose en su proximidad geográfica y en la similitud de las condiciones climáticas (Figura 1-5).

Por ejemplo, en la RIU n° 43 se recomienda el uso de las procedencias locales n° 4-Depresión del Guadalquivir, y la D-Marbella. La elección entre ellas dependerá, de criterios de



FOTO 7 El injerto aumenta la producción de la piña. El empleo de injertos se está utilizando en huertos semilleros y para aumentar la producción y acotar el tiempo que tarda el árbol en producir piña.

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía

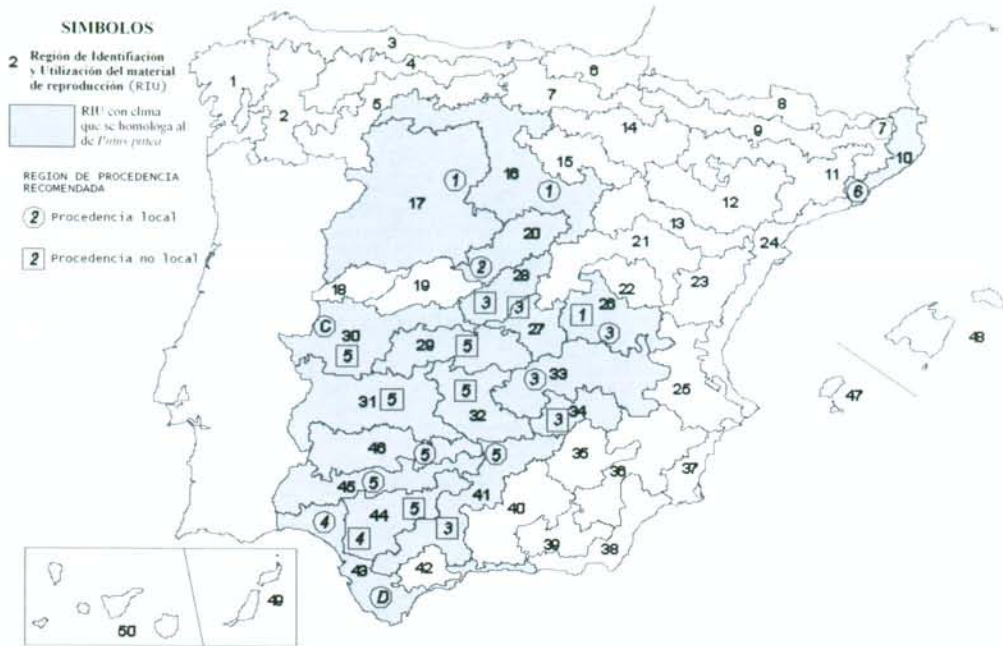


Figura I-5. Homologación climática de las fuentes semilleras de *Pinus pinea* en España (Prada *et al.*, 1997).

disponibilidad de semilla, etc. En el caso de la RIU n° 41, en Andalucía no existen masas naturales. Entre las posibles regiones, se recomiendan tanto la región de procedencia n° 5-Sierra Morena, como la región n° 3-La Mancha, por criterios de proximidad y de similitud climática entre los sitios de origen y destino del material de reproducción. Como es lógico, este mapa constituye una ayuda muy básica que no debe evitar un análisis más detallado de cada problema concreto que quiera resolverse. En ese caso, ya teniendo en cuenta las características concretas del sitio en el que se van a utilizar y las características de los materiales de base disponibles.

En resumen, en este apartado se ha intentado analizar una serie de factores que condiciona el uso del material forestal de reproducción de la especie *Pinus pinea*, así como las bases técnicas en las que se basan dichas actuaciones. Asimismo se han revisado las principales fuentes de información disponibles para que los técnicos puedan tomar decisiones a pesar de la complejidad de los factores que intervienen (centrándonos en los factores genéticos de las masas de *Pinus pinea*).

Autoecología

Conocer la autoecología de una especie supone la valoración cuantitativa de un gran número de variables edáficas, climáticas y fisiográficas. Los valores de ese conjunto de variables por encima o por debajo de los cuales la especie no puede vivir y autoregenerarse con normalidad, marcan los límites en la autoecología de la especie.

Estos límites pocas veces pueden ser cuantificados con precisión, dada la dificultad que supone su valoración en campo a escala real, y porque, además, los efectos que el exceso o defecto de un factor dado provoca sobre la planta nunca se deben a uno sólo, ni sus efectos son iguales en ausencia o en presencia de cantidades determinadas de otros, es decir, los factores se miden separadamente pero actúan conjuntamente produciendo sinergias positivas o negativas, que pocas veces se conocen con precisión.

Los estudios de ecología suelen considerar que los valores de las variables climáticas, edáficas y fisiográficas, que se encuentran en los territorios donde vive la especie de forma natural, son los adecuados, y que los territorios con características similares a ellos se consideran aptos para la especie aunque, por motivos conocidos o no, la especie no los ocupe actualmente.

Los valores óptimos suelen determinarse midiendo esos parámetros en los territorios donde la especie crece con mayor vigor, y los valores límites haciéndolo en zona donde se observa que la especie encuentra muchas dificultades para crecer y regenerarse.

En especies cultivadas en agricultura y en plantaciones forestales muy productivas, los valores óptimos de nutrientes y humedad del suelo se determinan mediante experimentación con diferentes dosis, pero en el ámbito de la selvicultura mediterránea extensiva ese tipo de estudios no son viables, motivo por el cual se acude a métodos indirectos y aproximados como los descritos anteriormente.

Los estudios en laboratorio, invernadero-vivero, sometiendo a las plántulas a condiciones límites de calor, frío, humedad, luz, nutrientes, etc., proporcionan información orientativa, sobre todo en términos comparativos, cuando se ensayan varias especies conjuntamente, pero su validación en condiciones de monte y para plantas adultas creciendo en ecosistemas poco alterados presenta dificultades que a veces no permiten su aplicación sin matizaciones.

Partiendo de estas ideas, y conociendo las limitaciones e inexactitudes que presentan los datos que vamos a utilizar para intentar definir la autoecología de *P. pinea*, exponemos, de forma resumida, la información que hemos encontrado en la bibliografía y la que nosotros hemos podido elaborar o completar con nuestro estudio. Aunque sería deseable presentar la información por bloques independientes, en pro de una mayor claridad, pocas veces será posible separar totalmente los efectos climáticos y edáficos o los climáticos y fisiográficos, pues suele ser necesario acudir a matizaciones tales como "crece bien" en exposiciones sur, siempre que



FOTO 8 Experimentación en invernadero – vivero con *P. pinea* para cuantificar las exigencias y respuestas de las plántulas a diferentes cantidades de luz, agua y nutrientes. Se observan las hojas embrionarias o cotiledonares saliendo del pericarpio para continuar su desarrollo.

las lluvias superen cierto límite, o soporta bajas precipitaciones a condición de que los suelos sean profundos y tengan alta capacidad de retención de agua, etc.

Clima

De manera general se puede decir que *Pinus pinea* es un taxón heliófilo, xerófilo y relativamente termófilo, requiere luz abundante y una buena iluminación de copas para la fructificación, en cambio durante sus primeros años de vida se desarrolla bien con una débil cubierta protectora, aunque puede hacerlo a plena luz.

Según Bernetti (1995) *Pinus pinea* ha fijado sus caracteres en condiciones climáticas muy diferentes dentro de la cuenca mediterránea o del clima mediterráneo, motivo por el cual parece que presenta adaptaciones menos completas que las conseguidas por *Pinus halepensis* o *P. pinaster*, al menos en lo que se refiere a su adaptación al fuego. Según Francini (1958) y Cortí (1969), adaptaciones inherentes al clima mediterráneo pueden ser puestas de manifiesto en la maduración trienal de la semilla impuesta por la parada invernal y estival, el desarrollo de su grueso gametofito y en el reducido intervalo de temperaturas óptimas para su germinación comprendidas entre 17 y 19 °C, con las cuales la especie intenta evitar la germinación de las semillas durante la estación más seca y calurosa (Maginni, 1955). Según Gellini (1969) temperaturas superiores a 20 °C producen ya una ligera disminución de la germinación. Estas afirma-

ciones son, desde luego, muy discutibles y difíciles de contrastar. El intenso uso que el hombre ha hecho de esta especie, y su plasticidad climática que le permite vivir en la costa mediterránea italiana y en el golfo de Venecia, en las llanuras onubenses o en la meseta norte castellana, en el árido Algarve o en la costa atlántica portuguesa, pueden haber producido adaptaciones locales, y con toda seguridad el empleo de semillas de unas zonas en otras.

Pinus pinea requiere una precipitación media anual superior a 250 mm aunque en la mayor parte de su área de distribución en la península Ibérica recibe entre 400 y 800 mm anuales, de los cuales 100-150 mm se producen en el periodo estival, aunque en el suroeste ibérico predominan las zonas con 50-75 mm en verano (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979). Soporta largos periodos con humedad ambiente muy reducida y ofrece gran resistencia a los vientos, incluso costeros impregnados de sal.

Necesita un clima algo cálido que se corresponde con los Termomediterráneo y Mesomediterráneo de Gaussen, con menos de 150 días fisiológicamente secos. En España vive en lugares con temperaturas medias en Enero superiores a 3 °C, rara vez entre 0 a 3 °C y con medias en Agosto superiores a 20 °C. Las máximas estivales superan los 40 °C. No soporta las heladas fuertes y continuadas, aunque en el sur de la península se han registrado esporádicamente mínimas de -2 ó -3°C y en las mesetas de -12 ó -13°C, en algún caso hasta -19°. La capacidad de resistencia de esta especie a las bajas temperaturas según Giordano (en Costa Tenorio *et al.*, 1997) está ligada a la humedad ambiental: en Ravena (Italia) puede soportar temperaturas mínimas absolutas de -14 °C y -25 °C, pero en zonas influenciadas por los vientos húmedos marítimos sufre bastantes daños con tan sólo 4 ó 5 °C por debajo de cero. Este hecho podría explicar su presencia en áreas continentales, frías y secas, como son los arenales de ambas mesetas castellanas (Costa Tenorio *et al.*, 1997).

Estos datos están de acuerdo con otros estudios de laboratorio en los que se ha observado que los primeros daños por frío se manifiestan a los -13 °C (Larcher, 1995). En campo los daños letales se ponen de manifiesto a temperaturas de -20 °C, pero bastan de -12 a -15 °C para que se produzcan desecaciones parciales y crisis de debilitamiento si el periodo de frío intenso es prolongado, pudiendo reducirse el tamaño y el peso de las piñas y la capacidad germinativa de las semillas (De Mas en Del Favero, 1989).

La resistencia a la aridez parece que decrece con la edad. En los primeros años de vida la plántula elude la falta de agua con el rápido crecimiento de la raíz que puede profundizar más de un metro en el primer año si la textura del suelo se lo permite, y encontrar así la cantidad de agua necesaria para su supervivencia. En otras ocasiones el hipocotilo desarrolla un callo suberoso que defiende a la planta del desecamiento superficial del suelo (Bernetti, 1995). Nuestra experiencia práctica indica, en algunos casos, lo contrario. Sólo en plantas con más de 5-10 años hemos observado ese comportamiento, pero no en plántulas de 1-2 años. En todo caso no tenemos datos experimentales que avalen lo indicado por Bernetti (1995) ni lo contrario.

En las plantas adultas el sistema radical cambia, de tal forma que la raíz principal se vuelve comparativamente menos profunda y más gruesa y la mayoría de las raíces se concentran

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía

en la superficie. Éstas siguen configuraciones diversas, según el estado del suelo, pero casi siempre presentan unas grandes raíces superficiales de las cuales suelen partir en gran número otras verticales que profundizan siempre que la textura del suelo lo permita (Padula, 1968).

Los pinos adultos en estaciones áridas presentan acículas más cortas, pérdida prematura de las hojas del año anterior y un tamaño de las piñas normalmente menor que los que viven en lugares húmedos. En estas condiciones el riego produce una respuesta muy significativa (Grossi, 1974).



FOTO 9 Los suelos arenosos con poca capacidad de retención de agua y bajas precipitaciones obligan a los árboles a desprenderse de una parte de las acículas, quedándose con las más jóvenes que cierran estomas y adquieren tonalidades verde claro.

Puede concluirse que *P. pinea* resiste la aridez casi tanto como *P. halepensis* aunque vegete en malas condiciones, pero sus óptimos desarrollo, producción y longevidad se producen en estaciones con más de 600 mm de precipitación anual, o bien sobre suelos bien abastecidos de agua.

Para completar la información general ofrecida en las líneas anteriores y buscando una mayor concreción del clima que afecta a las masas andaluzas, se hace a continuación una breve reseña siguiendo la taxonomía fitoclimática de Allué (1990). Según esta clasificación *P. pinea* en Andalucía vive sobre cuatro tipos fitoclimáticos (Figura I-6), aunque el 97% del área

de *P. pinea* está incluido dentro de los climas IV₂ (con el 48,9%) y IV₄ (con el 48,3%). El 69,5% de las masas puras están distribuidas en zonas de clima IV₂ y el 28,2% en zonas de clima IV₄, y sólo un 2,2% sobre clima IV₃.

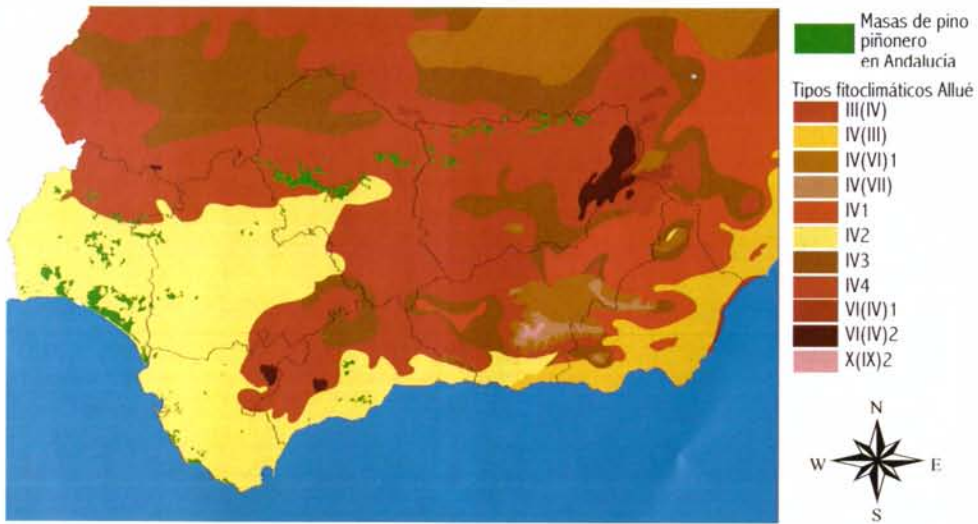


Figura I-6. Tipos fitoclimáticos sobre los que vive *Pinus pinea* en Andalucía. Fuente: Ruiz de la Torre, 1990-2000 y Allué, 1990.

Tabla I-4- Superficies de pino piñonero en los distintos tipos fitoclimáticos. (ha)

Tipos fitoclimáticos (Allué, 1990)	Tipo masas			TOTAL	% sobre el total
	Masas puras	Mezcla coníferas	Mezcla frondosas		
IV ₁	0	322	0	322	0,08
IV ₂	94.277	24.015	67.531	185.823	48,87
IV ₃	3.050	2.765	4.453	10.268	2,70
IV ₄	38.240	74.489	71.080	183.809	48,34

Sobre el tipo fitoclimático IV₄ se sitúan la práctica totalidad de las repoblaciones de Sierra Morena. Por su amplia extensión superficial a lo largo de esa cordillera, se produce una variabilidad climática desde el Oeste hacia el Este caracterizada por la pérdida de influencia de los vientos húmedos del suroeste y el aumento de la continentalidad hacia el Este. Este gradiente hace que en la parte nororiental, coincidiendo con la parte correspondiente a la provincia de Jaén se produzca un clima del tipo IV₃. También tienen este clima las manchas situadas en el



FOTO 10 Repoblación de *P. pinea* en Sierra Morena. La falta de aplicación de claras caracteriza a estas masas coetáneas en las que la competencia y la consecuente mortalidad natural empiezan a producir alguna diferenciación sociológica.

límite entre las provincias de Sevilla y Málaga, y en otras representaciones de menor extensión superficial. Los dos pequeños rodales situados en Almería están sobre el clima IV₁. Las masas de la zona sur de Huelva y las de la costa e interior de las provincias de Cádiz y Málaga se sitúan dentro del clima IV₂. Son los pinares con menor oscilación térmica de la especie, exentos de heladas y sometidos a un largo periodo de aridez estival, debido a las escasas lluvias de verano y la baja capacidad de retención de agua de los suelos.

Otra forma de acercarse al conocimiento del clima en el que vive *P. pinea* en Andalucía puede hacerse mediante la aplicación de la metodología descrita por Sánchez Palomares *et al.* (1999). Este autor determina las principales variables climáticas de un punto cualquiera del territorio, conociendo sus coordenadas geográficas, la altitud, pendiente, orientación y cuenca fluvial a la que pertenece dicho punto.

Siguiendo la metodología de este autor y utilizando los datos que aparecen en las parcelas del Segundo Inventario Forestal Nacional vamos a intentar caracterizar el clima de las masas situadas en Sierra Morena y sus estribaciones que viven generalmente sobre zonas de clima IV₄ de Allué (1990) y el clima de las masas de *P. pinea* distribuidas por la llanura onubense, sur de Cádiz y Málaga, que coinciden básicamente con el clima IV₂ de Allué (1990).

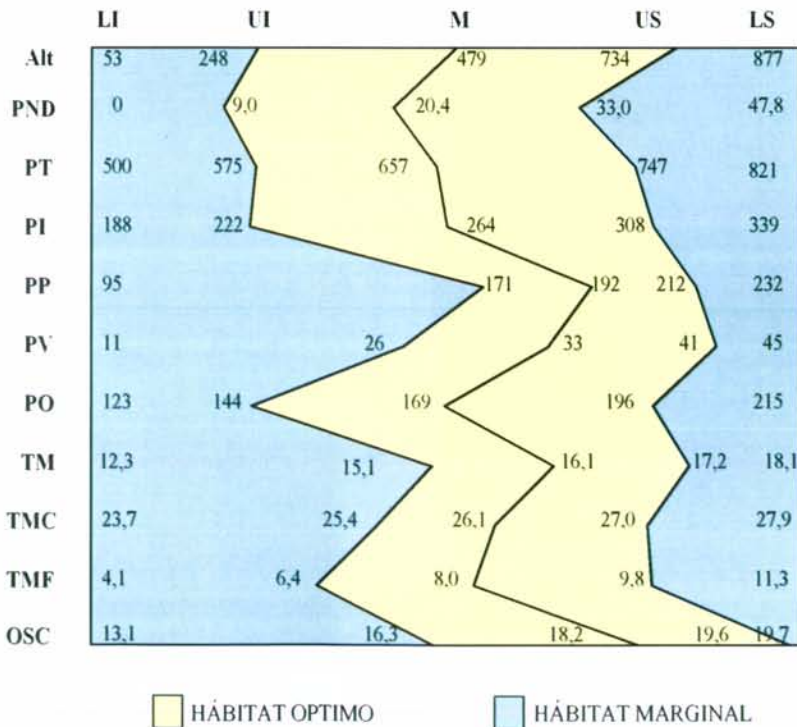


Figura 1-7. Valores medios, umbrales y límites superiores e inferiores de las principales variables climáticas de las masas de pino piñonero de Sierra Morena y sus estribaciones.

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía

Para el estudio de las masas de Sierra Morena se tomaron los datos de 619 parcelas del Segundo Inventario Forestal Nacional, situadas sobre masas procedentes de repoblación, aunque con diversos grados de naturalización, dependiendo de la edad y del método de repoblación aplicado. El resultado se expone en la Figura I-7 en la que se presentan los límites, umbrales y medias encontrados en los 619 puntos de muestreo considerados.

Siguiendo la misma metodología expuesta en el punto anterior, y utilizando 334 parcelas del Segundo Inventario Forestal Nacional situadas en la zona sur de Huelva y Cádiz se ha realizado la figura I-8, que contiene, al igual que la figura I-7 un conjunto de variables fisiográficas y climáticas que ayudan a cuantificar el clima en estas parcelas.

En las figuras I-7 y I-8 aparecen en ordenadas la altitud, la pendiente, la precipitación anual total (PT) y las precipitaciones estacionales (invierno, primavera, verano y otoño), así como las temperaturas medias, media del mes más cálido, la media del mes más frío y la oscilación térmica, definida como la diferencia entre TMC-TMF.

En el eje de abscisas se cuantifican los hábitats central y marginal, para lo cual se definen los límites superior (LS) e inferior (LI) como los valores máximo y mínimo encontrados para esa varia-

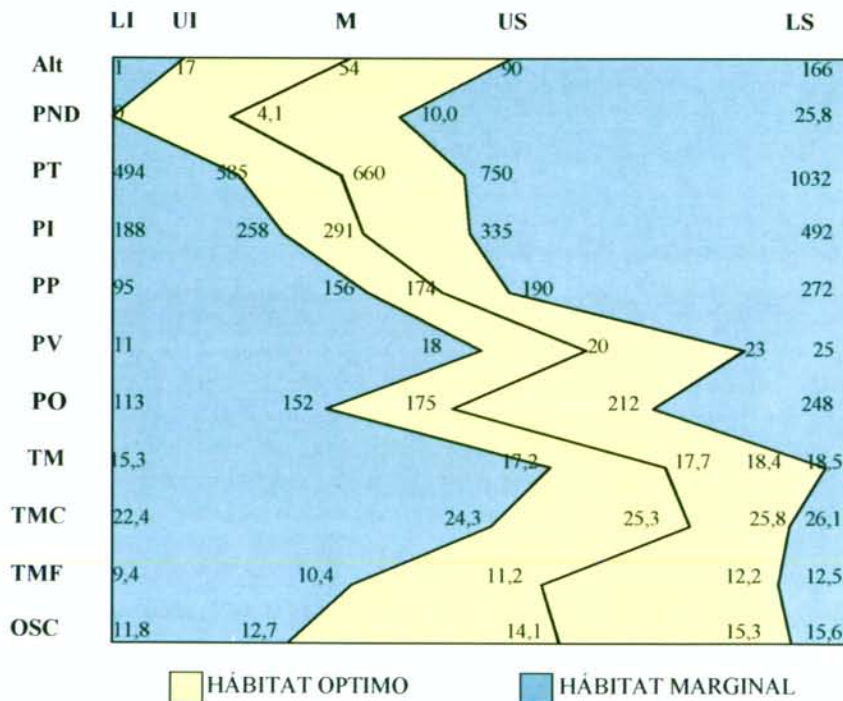


Figura I-8. Valores medios, umbrales y límites superiores e inferiores de los principales parámetros climáticos encontrados en las masas de pino piñonero de la llanura onubense y sur de Cádiz.

ble y los umbrales superior (US) e inferior (UI). El US es el valor máximo de la variable, una vez eliminados el 10% de los puntos en los que dicha variable alcanza el valor más alto. El UI se calcula de manera similar pero eliminando el 10% de las parcelas o puntos en los que el valor de la variable es el más bajo.

Para contrastar las similitudes y diferencias entre las dos zonas de pinares, Sierra Morena y sus estribaciones (SM) y la campiña onubense y costas (CoyC), se comparan los valores obtenidos para cada variable en una y otra zona.

Tabla 1-5. Comparación de los valores medios, umbrales superior e inferior y límites superior e inferior para las principales variables en las zonas de Sierra Morena (SM) y la Campiña Onubense y Costa (CoyC).

VARIABLE	MEDIA		US		UI		LS		LI	
	SM	CoyC	SM	CoyC	SM	CoyC	SM	CoyC	SM	CoyC
Alt	479	54	734	90	248	17	877	166	153	1,0
PND	20,4	4,1	33,0	10,0	9,0	0	47,8	25,8	0	0
PT	657	660	747	750	575	585	821	1032	500	494
PI	264	291	308	335	222	258	339	492	188	188
PP	192	174	212	190	171	156	232	272	95	95
PV	33	20	41	23	26	18	45	25	11	11
PO	169	175	196	212	144	152	215	248	123	113
TM	16,1	17,7	17,2	18,4	15,1	17,2	18,1	18,5	12,3	15,3
TMC	26,1	25,3	27,0	25,8	25,4	24,3	27,9	26,1	23,7	22,4
TMF	8,0	11,2	9,8	12,2	6,4	10,4	11,3	12,5	4,1	9,4
OSC	18,2	14,1	19,7	15,3	16,3	12,7	19,7	15,6	13,1	11,8

De la observación de la Tabla 1-5 se desprende que la precipitación anual media es sensiblemente igual en las dos zonas, siendo superiores las precipitaciones de invierno y otoño en la zona CoyC y las de primavera y verano en la zona SM. La TM es algo menor en SM que en CoyC y la TCM mayor, la TMF es siempre mayor en CoyC que en Sierra Morena y como consecuencia de todo lo anterior la oscilación térmica es mayor en SM que en CoyC. En general puede decirse que en los pinares de la zona CoyC hace menos frío en invierno y menos calor en verano, y las precipitaciones no son significativamente distintas, lo que podría indicar que el mayor crecimiento que muestran las masas de Sierra Morena frente a las situadas en la campiña onubense y costas puede deberse a la mayor fertilidad de algunos de los suelos de Sierra Morena.

Suelo

Pinus pinea, con carácter general, no presenta una particular exigencia en cuanto al sustrato. La mayor parte de sus formaciones se encuentran sobre depósitos cuaternarios y neógenos, sien-

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía

do frecuentes las localizaciones sobre rocas ígneas ácidas (granitos y rocas afines) y sobre materiales calizos terciarios, a veces en manchas de rocas cristalinas disgregables en arenas finas.

Vive bien en los suelos frescos y profundos, principalmente en los arenosos; también en los arenales marítimos y dunas fijas litorales o interiores. Aunque prefiere los suelos silíceos, puede vivir bien en los calizos del Mioceno continental si no son muy pesados y arcillosos (López, 1982; Amaral Franco, 1986) porque impiden el desarrollo de las raíces. Rehuye o tolera mal las arcillas fuertes, margas y yesos. No coloniza nunca los saladares, aunque soporta cierta salinidad en las cercanías del mar, pero en estos enclaves, no logra buenos crecimientos.



FOTO 11 En la mayoría de los pinares de la campiña onubense y en la costa, abundan los suelos arenosos y fácilmente erosionables, como el que se muestra en la foto que deja al descubierto la anastomosis entre raíces de diferentes árboles y permite observar la forma del sistema radical.

En general en suelos pobres suele ser normal que se produzca una relativa reducción de la longitud de las acículas y de la densidad foliar de la copa. Sobre suelos muy pobres, sobre todo si contienen gran cantidad de elementos ferro-magnésicos, *Pinus pinea* sobrevive pero no se desarrolla bien, a veces ni siquiera alcanza porte arbóreo, quedándose achaparrado con las ramas hasta el suelo y gran abundancia de acículas individuales de color glauco, que indican que está viviendo en condiciones límite. La aparición de hojas muy cortas, poco longevas y de color verde grisáceo es un síntoma de debilitamiento que puede ser debido a la sequía, excesiva competencia por la luz y nutrientes, a la existencia de una capa de agua salitrosa o a inviernos muy fríos.



FOTO 12 *P. pinea* viviendo en condiciones límite. Su porte achaparrado, la aparición de acículas aisladas de color glauco y su escaso crecimiento en altura ponen de manifiesto las dificultades de nutrición o la existencia de deficiencias ecológicas que no permiten el desarrollo de la especie.

En Andalucía *Pinus pinea* vive sobre diferentes suelos, con características físicas y de fertilidad muy desiguales. Por superposición del mapa de distribución de la especie (Ruiz de la Torre, 1990-2000) y el mapa de suelos de la FAO, se han obtenido las superficies de pinar que viven en cada uno de esos grupos de suelos, como se ve en la figura I-9 y en la tabla I-5.

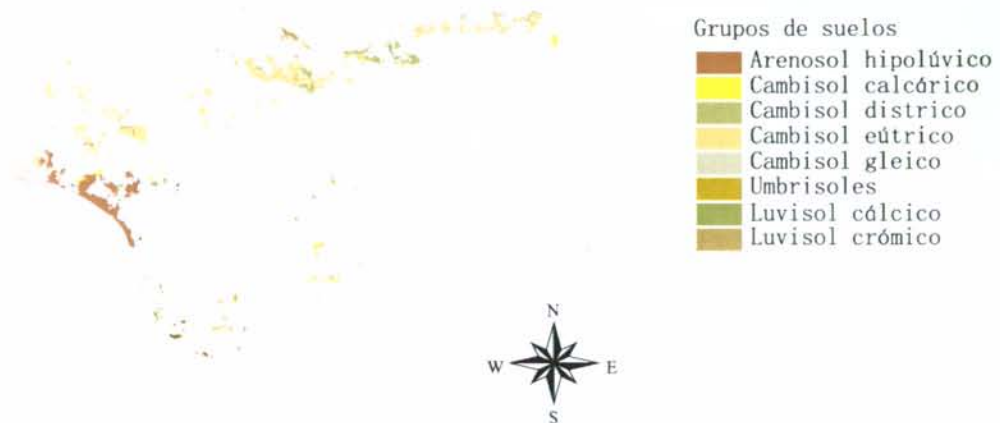


Figura I-9. Distribución de las masas de pino piñonero en las distintas unidades de suelo de la FAO en Andalucía. Fuente: Ruiz de la Torre, 1990-2000 y FAO.



FOTO 13 En zonas cacuminales de Sierra Morena es frecuente la existencia de rodales repoblados cuyo desarrollo se ve muy limitado por la escasez de fertilidad de los suelos, situados sobre pizarras como las que se muestran en la foto. En estas zonas, la sustitución del pino por frondosas, o la mezcla de éstas con el pino, suele ser inviable.

Tabla I-5. Superficies en hectáreas de pino piñonero en los distintos tipos de suelo en Andalucía.

Grupos de suelos, FAO		Tipos de masa (ha)				
GRUPOS	UNIDADES	Masas puras	Mezcla coníferas	Mezcla frondosas	TOTAL	% sobre el Total
Arenosol	hipolúvico	62.116	1.610	21.180	84.906	22,3
Cambisol	calcárico	2.865	9.368	4.616	16.849	4,4
	dístrico	11.073	11.387	21.823	44.283	11,7
	eútrico	45.836	70.509	80.598	196.945	51,8
	gleico	117	0	377	494	0,1
Umbrisol		151	467	5.127	5.745	1,5
Luvisol	calcárico	7.242	1.128	4.353	12.723	3,4
	crómico	0	6.828	1.860	8.688	2,3
Otros		6.166	293	3.128	9.587	2,5

Las repoblaciones de Sierra Morena y sus estribaciones están situadas, prácticamente todas, sobre cambisoles eútricos (196.945 ha) y sobre cambisoles dístricos (44.283 ha). Algunas manchas de luvisol crómico (8.688 ha) en el norte de la provincia de Córdoba completan los tipos de suelo de los pinares de Sierra Morena.



FOTO 14 En algunos rodales de pinar de la Campiña Onubense aparecen suelos gredosos que no permiten la penetración del sistema radical. En épocas de lluvias abundantes y persistentes suelen producirse derribos por la pérdida de coherencia de este tipo de suelos.

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía

Desde el punto de vista geológico estos pinares se asientan sobre materiales paleozoicos y precámbricos de naturaleza mayoritariamente silíceo con abundantes afloramientos graníticos que originan suelos generalmente ácidos y pobres en nutrientes.

Los pinares de la llanura onubense se sitúan, mayoritariamente, sobre arenosoles hipolúvicos (84.906 ha). Muchos de estos pinares, que crecen casi al nivel del mar, se sitúan sobre sedimentos terciarios marinos, depósitos aluviales, terrazas arenosas, dunas y playas fósiles.

Sobre cambisol calcárico hay un total de 16.849 ha distribuidas en manchas discontinuas en la parte más interior de la campiña y algunos rodales en las repoblaciones de la zona interior oriental de Cádiz.

Con los datos de 40 perfiles de suelo obtenidos en los montes de Hinojos, Almonte, Moguer, Mazagón y Campo Común de Arriba y Abajo, se ha realizado el gráfico que se presenta en la figura I-10, siguiendo la metodología de Gandullo y Sánchez-Palomares (1994), que nos da un esbozo de los suelos en los que vive *Pinus pinea*.

En la figura I-10 aparecen en ordenadas la altitud, pendiente, porcentaje de tierra fina, porcentajes de arena, limo y arcilla en tierra fina, pH, pH a los 25 cms de profundidad, materia orgánica, materia orgánica a los 25 cms de profundidad, nitrógeno, nitrógeno a los 25 cms de profundidad, fósforo, potasio, relación carbono/nitrógeno y capacidad de retención de agua.

En abscisas se cuantifican los hábitats central y marginal, estableciendo los límites inferior (LI) y superior (LS) y los umbrales inferior (UI) y superior (US), con la metodología anteriormente descrita.

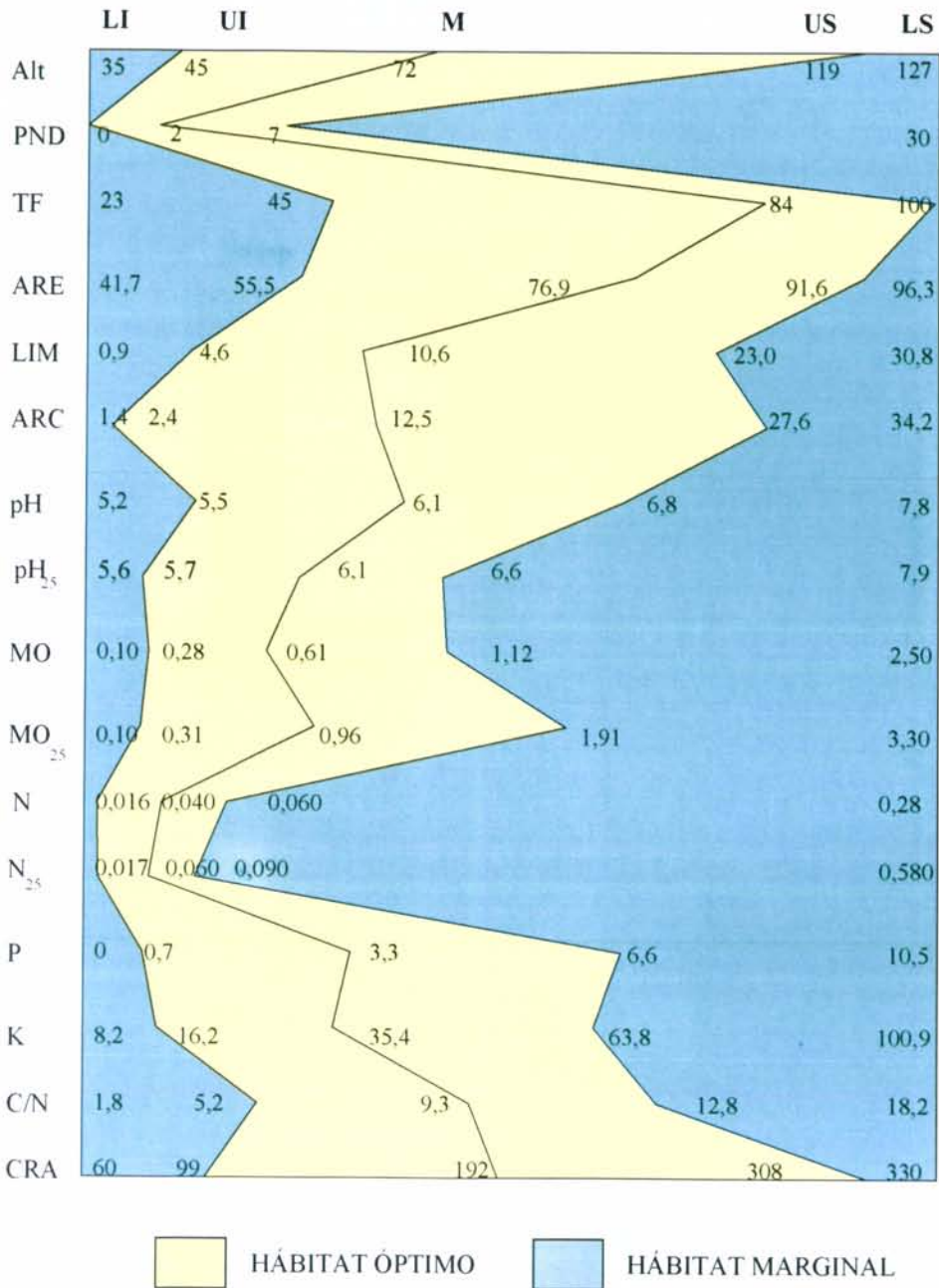


Figura I-10. Valores medios, umbrales y límites superiores e inferiores de los principales parámetros edáficos de las masas de pino piñonero de la llanura onubense.