

CAPÍTULO.-

SELVICULTURA DE *PINUS HALEPENSIS*

Miren del Río, Rafael Calama, Gregorio Montero

*Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).
Carretera de La Coruña Km7. E-28040 MADRID. delrio@inia.es, calama@inia.es,
montero@inia.es*

0. INTRODUCCIÓN

I. TIPOLOGÍA DE LOS PINARES DE PINO CARRASCO

II. REGENERACIÓN Y TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN

II.1. Principales factores que influyen en la regeneración

II.1.1. Producción y dispersión de semilla

II.2.2. Germinación, instalación, supervivencia y desarrollo del regenerado

II.2. Tratamientos generales

II.2.1. Masas regulares

II.2.2. Masas irregulares

II.2.3. Masas mixtas

III. TRATAMIENTOS CULTURALES

III.1. Limpias

III.2. Clareos

III.3. Claras

III.4. Podas

III.5. Tratamientos preventivos frente al incendio

III.6. Esquemas de selvicultura

IV. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

IV.1. Calidad de estación

IV.2. Crecimiento y producción

IV.3. Turno

IV.4. Modelos de crecimiento y producción

V. BIBLIOGRAFÍA

0. INTRODUCCIÓN

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Miller) es la especie del género *Pinus* más ampliamente repartida por el entorno circunmediterráneo, conformando un elemento caracterizador fundamental de los bosques del Mediterráneo occidental. Las masas de mayor extensión se presentan en el norte de África (Argelia y Túnez), el área oriental de la Península Ibérica, la Provenza francesa y el litoral italiano. *Pinus halepensis* es una especie que presenta una marcada adaptación a la gran variedad de tipos climáticos y ecológicos propios del medio mediterráneo, ocupando desde ambientes semiáridos hasta zonas submediterráneas de media montaña. Entre los rasgos definidores de esta adaptación cabe citar su resistencia a la sequía, su indeferencia frente a un amplio rango de sustratos y su estrategia xeriscente frente al fuego. La plasticidad ecológica de *Pinus halepensis* la convierte en una especie pionera, capaz de expandirse en terrenos desnudos, en plena exposición, recién incendiados o en áreas agrícolas abandonadas.

El carácter climático e incluso la espontaneidad en la Península Ibérica de *Pinus halepensis* ha sido objeto de controversia, aunque la mayor parte de los autores aceptan hoy en día el papel de la especie como vegetación potencial en ambientes áridos, o sobre sustratos margosos, y su carácter de etapa de sustitución de formaciones frondosas esclerófilas. La superficie de masas naturales de la especie en España supera las 800000 ha (Gil et al. 1996). Así mismo, la especie ha sido ampliamente utilizada en repoblaciones, generalmente de carácter protector frente a la erosión hídrica. Esta actividad repobladora ha supuesto que entre 1940 y 1995 la superficie de la especie en España se haya incrementado en más de 500000 ha (Montero, 1999).

Pese a la importancia de la superficie ocupada por la especie, la complejidad estructural y dinámica de sus masas, su papel como elemento caracterizador del paisaje mediterráneo y la importante función de las masas de pino carrasco como protectoras de los suelos frente a la erosión, es una especie relativamente poco estudiada, al menos desde un punto de vista selvícola. Entre las distintas razones que han motivado este aparente desinterés suele citarse en primer lugar el escaso interés económico del aprovechamiento maderero del pino carrasco. Otra razón es el amplio rechazo que la especie llegó a levantar en determinados sectores sociales y académicos, que negando la naturalidad de la misma, la señalaron como principal agente causante y propagador de incendios forestales. Más allá de las causas que motivaron el olvido de la especie, la realidad es que en gran parte de las masas españolas de pino carrasco la actividad selvícola ha sido escasa, presentando en la actualidad problemas de decaimiento, riesgo de estabilidad biológica y alta vulnerabilidad frente a la ocurrencia de incendios.

I. TIPOLOGÍA DE LOS PINARES DE PINO CARRASCO

Pinus halepensis Mill. es una especie de gran amplitud ecológica, tanto climática como edáfica, lo que le permite vegetar en condiciones donde otras especies presentan dificultades para sobrevivir, o su capacidad de crecimiento es muy reducida. La aparente preferencia de la especie por los terrenos calizos, así como su termofilia y xerofilia deben entenderse más como una adaptación ligada a fenómenos de competencia inter-específica, que a un verdadero requerimiento por estas condiciones (Cámara, 1999). En este sentido, las mejores estaciones de pino carrasco se localizan

sobre suelos neutros, con elevada capacidad de retención de agua, y en condiciones meteorológicas de menor aridez (Gandullo, 1972).

Teniendo en cuenta esta consideración y atendiendo a factores climáticos, edáficos y geomorfológicos, Blanco et al. (1997) clasifican los pinares naturales de carrasco en tres grandes tipos: pinares de zonas basales de ambiente semiárido, pinares de zonas basales y medias de ambiente mediterráneo seco y pinares de solanas térmicas en ambiente submediterráneo. A continuación se exponen las principales características de cada tipo:

PINARES DE ZONAS BASALES DE AMBIENTE SEMIÁRIDO

Los pinares de carrasco bajo ambiente semiárido se distribuyen en el litoral suroriental, Baleares, tierras bajas de la Bética oriental y en el valle del Ebro. En general estos pinares presentan un desarrollo moderado y densidades bajas, dominando las masas abiertas compuestas por individuos de pequeño tamaño y porte tortuoso. En estos ambientes las frondosas perennifolias no plantean problemas de competencia a la especie.

En el litoral suroriental y Baleares el pino carrasco se localiza en sustratos calcáreos, dolomíticos y arenales costeros ocupando un rango de altitudes desde el nivel del mar hasta los 700 m (vertientes costeras de las sierras andaluzas). En el estrato arbustivo acompañante aparecen especies termófilas como palmito (*Chamaerops humilis* L.), coscoja (*Quercus coccifera* L.), lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), albaida (*Anthyllis cytisoides* L.), etc. En las zonas basales de la Bética aparecen pies sueltos de pino carrasco en espartales sobre suelos margo-yesosos. En general todos los pinares de estos territorios son formaciones muy degradadas como consecuencia de la fuerte presión humana a la que se ven sometidas.

Los sustratos de los pinares del valle del Ebro están constituidos por calizas margosas y yesos y la especie se sitúa en altitudes entre 100 y 800 m. El pino carrasco se mezcla en esta área con sabina albar (*Juniperus thurifera* L.), sabina negral (*J. phoenicea* L.) o encina (*Quercus ilex* L.) según la continentalidad y humedad de la estación. Entre las especies arbustivas acompañantes más características se encuentran lentisco, espino negro (*Rhamnus lycioides* L.), aladierno (*R. alaternus* L.) y labiérnago (*Phillyrea angustifolia* L.).

PINARES DE ZONAS BASALES O MEDIAS DE AMBIENTE MEDITERRÁNEO SECO

Dentro de este grupo se encuentran los pinares que crecen en las estaciones menos xéricas de las provincias del litoral mediterráneo. Frecuentemente se mezclan con encina, ocupando el pinar las estaciones con condiciones más desfavorables: solanas, relieves abruptos, suelos pobres, etc. El pino carrasco presenta un mejor desarrollo que en el tipo anterior, formando generalmente masas más densas.

En el sur de las sierras Béticas se extienden estos pinares entre los 500 y 800 m de altitud y sobre margas e incluso yesos. Suelen ser pinares aclarados ricos en sotobosque termófilo (*Quercus coccifera*, *Juniperus oxycedrus* L., *J. phoenicea*, *Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis* L., etc.).

Del Río et al.

Este tipo de pinar es muy abundante en la zona norte de las islas Baleares (Mallorca y Menorca), apareciendo sobre distintos sustratos: calizas, areniscas y en las rocas ácidas de los acantilados costeros. En esta zona entre las especies características acompañantes cabe citar el lentisco, aladierno, madroño y enebro.

Otro núcleo de este grupo se sitúa en las zonas basales de las montañas interiores catalanas paralelas a la costa. Estas masas de pino carrasco alcanzan muy buen desarrollo, conformando las formaciones más productivas de la especie y de mayor interés para el aprovechamiento maderero. Se mezclan con especies de *Quercus* (quejigos y encinas), con sotobosque rico en especies arbustivas entre las que destaca el durillo (*Viburnum tinus* L.) y el madroño (*Arbutus unedo* L.).

PINARES DE SOLANAS TÉRMICAS EN AMBIENTE SUBMEDITERRÁNEO

Bajo climas más fríos y continentales los pinares de carrasco se extienden en valles protegidos del Prepirineo aragonés, catalán y Sistema Ibérico. Estos pinares constituyen las incursiones de la especie hacia el interior de la Península, refugiándose en exposiciones de solana. Se asientan sobre calizas, dolomías y margas, en un amplio rango de altitudes. Estas masas se asocian habitualmente con especies de *Quercus*, que se han visto muchas veces desplazados por los pinares como consecuencia de talas, incendios y erosión edáfica. Forman masas más o menos densas, variando el desarrollo según las condiciones de la estación. Entre las especies acompañantes que aparecen en estos pinares se encuentran *Juniperus phoenicea*, *J. oxycedrus*, *Pistacia terebinthus* L., *Quercus coccifera* y *Amelanchier ovalis* Medicus.

Una propuesta tipológica complementaria a la anterior es la presentada por Montero et al. (2001), donde clasifican las masas de pino carrasco en tres grandes grupos, de acuerdo a la estructura de edades, origen de las masas y selvicultura aplicada en las mismas. De acuerdo a esta clasificación se distinguen:

MASAS PROCEDENTES DE REGENERACIÓN POST-INCENDIO

Masas de estructura regular, coetáneas, que presentan densidades elevadas (>10000 pies/ha), y en las que, salvo que se apliquen intervenciones tempranas, no se aprecia una diferenciación en estratos sociológicos, lo que conduce a un estancamiento del crecimiento y desarrollo.

MASAS NATURALES SOMETIDAS A INTERVENCIÓN

Se corresponden con aquellas masas naturales o naturalizadas en las que la renovación del estrato adulto no ha sido consecuencia de un incendio. En general son masas de estructura más compleja que las anteriores, con presencia habitual de dos o más clases de edad, y una discontinuidad espacial en cuanto a la distribución del arbolado, apareciendo grupos y bosquetes de alta densidad alternando con huecos donde la presencia del matorral y de individuos del gen. *Quercus* son abundantes.

REPOBLACIONES

Aunque *Pinus halepensis* se había utilizado en la repoblación de cabeceras de cuenca hidrológica desde finales del siglo XIX (p.e. la repoblación de Sierra Espuña iniciada en

1891) el mayor esfuerzo repoblador se corresponde con la puesta en práctica del Plan Nacional de Repoblaciones de 1939. En el marco de este plan, entre 1940 y 1980 más de 500000 hectáreas de terrenos forestales degradados y desarbolados fueron repobladas con pino carrasco, generalmente conformando unidades coetáneas de gran superficie, con vocación preferente de protección frente a la erosión y restauración de la cubierta vegetal.

Estas repoblaciones no sólo se centraron en las áreas naturales de crecimiento de la especie, sino que se extendieron a determinadas zonas del interior peninsular. Pese a la gran variedad ecológica de las estaciones repobladas y los diferentes métodos de repoblación empleados, una característica común a la mayor parte de estas nuevas masas ha sido la elevada densidad inicial y la posterior falta de aplicación de intervenciones selvícolas. Esta no intervención ha motivado que en la actualidad existan miles de hectáreas de pinares adultos, e incluso maduros, con densidades excesivas, elevado riesgo de decaimiento y en las que no se han definido los objetivos prioritarios de la gestión. En estas masas se considera fundamental en primer lugar la definición de objetivos concretos para la gestión que permitan identificar y proceder a la aplicación de las intervenciones necesarias para la consecución de los citados objetivos.

II. REGENERACIÓN NATURAL Y TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN

Pinus halepensis puede definirse como la especie más heliófila y termófila de entre las especies autóctonas peninsulares del gen. *Pinus*. La regeneración natural de la especie abarca una serie de procesos que representan la clara adaptación de la especie a las condiciones ecológicas del medio mediterráneo y, en particular, a la recurrencia del fuego sobre los ecosistemas. En general se puede considerar que los pinares de pino carrasco regeneran con facilidad tras la ocurrencia de un incendio, aunque esto no significa que la especie se vea favorecida en sí por la ocurrencia del fuego, ni que únicamente se regenere bajo estas condiciones (lo que sí le sucede a las especies *pirófitas*).

En la dinámica de sucesión post-incendio, *Pinus halepensis* compite en desventaja inicial con las especies rebrotadoras, como las de los gens. *Quercus*, que pueden llegar a desplazar a los pinares, en especial si las condiciones ambientales son favorables (Martínez et al. 1996; Broncano et al. 2005). El desplazamiento post-incendio puede convertirse en exclusión si el periodo de recurrencia entre dos incendios es inferior al tiempo necesario para que el pinar joven produzca fruto y semilla viable (Abbas et al. 1984). Sin embargo, en pinares adultos con presencia de especies de matorral no rebrotadoras (cistáceas, labiadas, etc.) la dinámica post-incendio fortalece la presencia del pinar.

La exigencia en luz de la especie y su capacidad para colonizar fácilmente terrenos desprovistos de vegetación (zonas recién incendiadas o terrenos agrícolas abandonados) posibilita la consecución de la regeneración natural de las masas mediante la aplicación de los tratamientos generales de más sencilla aplicación, como las cortas a hecho en bosquetes, fajas o en dos tiempos. Sin embargo, condicionantes de tipo paisajístico y, en especial, el papel que los pinares desempeñan como protectores del suelo frente a la erosión, desaconsejan la aplicación de estos tratamientos en la mayor parte de las masas españolas.

II.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REGENERACIÓN:

II.1.1. PRODUCCIÓN Y DISPERSIÓN DE LA SEMILLA

Edad de fructificación y longevidad de la especie

En regenerados post-incendio se han localizado (Royo, 1994; Papio, 1994) individuos de *Pinus halepensis* de 6 años de edad con piñas y semilla fértil, lo que implica que la floración se produjo cuando el individuo contaba con cuatro años de edad. En general, las masas producen abundante semilla viable a partir de los 10 años (Thanos y Daskalakou, 2000; Verkaik y Espelta, 2006), y a partir de los 12-20 prácticamente todos los individuos de una masa regular producen piña y semilla viable (Thanos y Daskalakou, 2000). Se considera que *Pinus halepensis* mantiene fructificaciones abundantes hasta los 70-80 años (ONF, 1992), edad a partir de la cual se produce un significativo descenso en la producción de piñas.

Vecería en la producción, serotinia y contenido de las piñas

Pinus halepensis fructifica abundantemente casi todos los años (Ruiz de la Torre, 1979; ONF, 1992; Gil, 1997; Orozco et al. 2005a, Verkaik y Espelta, 2006), habiéndose indicado la presencia de abundantes y regulares cosechas la mayor parte de los años (Alía et al. 1999, Thanos y Daskalakou, 2000), excepto en las estaciones de mayor aridez. Esta constancia y regularidad en las producciones puede considerarse como un mecanismo de adaptación al fuego, que garantiza la disponibilidad de semilla en caso de incendio. Aunque se ha encontrado variabilidad en la producción entre años, estaciones e individuos en una misma estación, se cita como valor medio de producción anual en un pinar maduro 36 – 167 piñas por árbol (Daskalakou y Thanos, 1996).

Pese a esta regularidad, es posible que se presenten años de menor cosecha (Thanos y Daskalakou, 2000, Orozco et al. 2005), probablemente ligados a factores climáticos. Con respecto a la producción de fruto y al posible efecto de ocurrencia de un incendio en año de escasa cosecha, *Pinus halepensis* presenta una adaptación denominada *estrategia resiliente*, identificada en distintas especies adaptadas al fuego, y consistente en mantener un abundante banco de semilla viable bien en la copa del árbol (*banco aéreo*), bien en el suelo (*banco edáfico*).

Pinus halepensis no mantiene bancos edáficos de semilla viable más allá de los meses siguientes a la dispersión (Ferrandis, 1996; Daskalakou y Thanos, 1996), en parte debido a las altas tasas de predación post-dispersión existentes (ver apartado siguiente). La ausencia de banco edáfico de semillas viable condiciona el que la resiliencia frente al fuego en *Pinus halepensis* debe soportarse sobre el mantenimiento de un banco aéreo de semilla, lo que se consigue mediante dos procesos. Por un lado las piñas no se abren una vez madurado el piñón, al finalizar el segundo verano tras la floración, sino que la dehiscencia y diseminación se retrasa hasta el verano siguiente, encontrando siempre una cosecha de piñas con semilla viable en el árbol (Ruiz de la Torre, 1979; Gil et al. 1996). Por otra parte, las piñas de *Pinus halepensis* presentan serotinia. Este fenómeno consiste en que una parte de las piñas maduras cada año se mantienen cerradas durante un número indefinido de años, mateniendo un alto nivel de viabilidad

germinativa en piñas de más de 20 años (Daskalakou y Thanos, 1996). La presencia de fuego favorece la apertura de las piñas serotinas y la dispersión posterior de la semilla en el entorno post-incendio. Sin embargo, la serotinia en *Pinus halepensis* puede romperse también como consecuencia de otros factores ambientales, como la sequía, cambios en la humedad ambiente o presencia de vientos desecantes (Nathan et al. 1999). Estos factores pueden modificarse (al menos en parte) a través de la silvicultura, por lo que el efecto que tratamientos como la clara, la poda o la corta diseminatoria tienen sobre la serotinia debe ser tenido en cuenta.

El porcentaje de piñas que se mantienen como serotinas varía con la edad, pudiendo alcanzar al total de la cosecha en las masas más jóvenes (Thanos y Daskalakou, 2000; Ne'eman et al. 2004; Verkaik y Espelta, 2006), y disminuyendo a medida que la masa envejece, hasta alcanzar valores entre el 50 - 80 % en pinares adultos (Thanos et al. 1996; Thanos y Daskalakou, 2000). La elevada tasa de serotinia en los pinares jóvenes responde nuevamente a una estrategia adaptativa frente al fuego, garantizando la presencia precoz de un abundante banco aéreo de semilla con el que afrontar el riesgo de un incendio.

Las piñas desarrolladas en individuos jóvenes tienden a tener menor tamaño, menor contenido en piñones y menor tamaño medio del piñón (Thanos y Daskalakou, 2000), aunque las tasas de germinación son similares a las de piñones de mayor tamaño procedentes de piñas de los árboles adultos (Thanos et al. 1996).

Tamaño de la semilla

El piñón del pino carrasco es de tamaño medio (5-7 mm), dotado de un ala cuya longitud alcanza los 15-20 mm, indicando una clara adaptación de la especie a la dispersión de la semilla por viento. La distancia de dispersión de las semillas es relativamente corta (Nathan et al. 2000; Herranz et al., 1997), no superando un alejamiento respecto de los pies madre superior a 100-125 metros, y concentrando la mayor parte de la dispersión en un radio inferior a 20 m alrededor del árbol (Nathan et al. 2000). En este sentido, Nathan y Ne'eman (2000) estiman que menos del 0.2% de las semillas cubrirán una distancia de dispersión superior a 1 km. Considerando como producción media de conos y tasa de serotinia las mencionadas en los apartados anteriores, en un pinar maduro y denso se garantiza la llegada de varios cientos de piñones por metro cuadrado en el caso de apertura simultánea de las piñas serotinas de un árbol por efecto del fuego, mientras que este valor se reduce a 25-100 piñones por m² si se considera únicamente las piñas que se abren cada año en condiciones normales. La dispersión de la semilla se produce en el otoño – invierno del segundo año (tercer ciclo) a partir de la floración, aunque el piñón ha madurado durante el invierno anterior (Thanos y Daskalakou, 2000). No existen evidencias acerca de la dispersión de piñón por animales (Nathan y Ne'eman, 2000), aunque se considera que algunos predadores de piñón (como roedores y hormigas) podrían jugar un papel importante en la dispersión secundaria de semilla ya caída en el suelo.

Predación pre y post dispersión

La predación pre-dispersión (ejercida sobre las piñas en el árbol) y post-dispersión (predación sobre piñones dispersados en el suelo) supone una reducción significativa en la cantidad de semilla disponible para la regeneración de las masas de *Pinus halepensis*.

La predación pre-dispersión está asociada principalmente a las siguientes especies (Acherar et al. 1984, Nathan y Ne'eman, 2000):

- Lepidópteros cuya larva se desarrolla en el interior de la piña y que se alimenta del piñón (*Dyorictria mendacella*, *Cadra cautella*)
- Aves que o bien extraen piñones de las piñas abiertas (*Carduelis spinus*, *carduelos chloris*, *Passer domesticus*, *Fringilla coelebs*, *Serinus serinus*) o bien son capaces de abrir piñas cerradas para consumir los piñones (*Loxia curvirostra*)
- Mamíferos roedores, como la rata negra (*Rattus rattus*) o la ardilla (*Sciurus vulgaris*)

En pinares de carrasco franceses, Acherar et al. (1984) observan que la predación de piñones dispersos en el suelo se realiza preferentemente por hormigas (que consumen el 67% del total de la semilla predada), roedores nocturnos (gen. *Apodemus*, responsables del 24% de la semilla predada) y passeriformes (que consumían el 9% restante). En Israel (Nathan et al. 1999) la distribución de las especies consumidoras es similar, aunque en el caso de dispersión post-incendio se incrementa la tasa de semilla consumida por pájaros (Nathan y Ne'eman, 2000). En general la presión predatora sobre la semilla en el suelo es muy alta, pudiendo llegar a superar el 97% del total de la semilla dispersada (Ne'eman et al. 2004), aunque por lo general queda siempre un número suficiente de semillas como para conseguir la instalación de un regenerado adecuado en términos de selvicultura.

II.1.2. GERMINACIÓN, INSTALACIÓN, SUPERVIVENCIA Y DESARROLLO DEL REGENERADO

La cantidad de piñón dispersado, incluso en condiciones normales de ausencia de incendio y alta presión predatora, parece indicar que la disponibilidad de semilla únicamente puede ser considerada un factor limitante para la regeneración en contadas estaciones y años, o en el caso de recurrencia de incendios con una frecuencia inferior al tiempo requerido por la masa joven para iniciar la fructificación. Por otra parte la facultad germinativa de *Pinus halepensis* puede considerarse como elevada, alcanzando valores de 70% en condiciones de laboratorio (Bernetti 1995), bajo un amplio rango de temperatura, humedad e intensidad lumínica. La disponibilidad de semilla y la alta tasa de germinación apuntarían hacia un éxito habitual de la regeneración natural, consiguiendo con poca dificultad la instalación de un regenerado de alta densidad y la consiguiente renovación de la masa adulta o recuperación del terreno incendiado, incluso en condiciones ecológicas muy diversas.

La regeneración natural de las masas de carrasco se consigue fácilmente en Francia, Italia y las zonas más húmedas del litoral de España (Cataluña). En estas zonas no es difícil encontrar, a los pocos años de la corta a hecho o del incendio, densidades de regenerado superiores a 10000 – 50000 pies/ha. Sin embargo, a medida que la especie vegeta en áreas de mayor aridez, con menor precipitación, mayor continentalidad, y sobre suelos más compactos y degradados la regeneración natural de las masas empieza a ser más difícil. Este es el caso de las estaciones de Túnez (Chakroun, 1986), Argelia, o de zonas continentales del interior de España, donde al menor número de plántulas emergidas se une una alta tasa de mortalidad estival durante los primeros años de desarrollo. A continuación se detallan aquellos factores que condicionan la germinación,

supervivencia y crecimiento de las plántulas de *Pinus halepensis* durante estos estadios iniciales del desarrollo.

Temperatura y humedad

De acuerdo a Magini (1955) el óptimo de germinación en *Pinus halepensis* se alcanza con temperaturas medias diarias entre 16 – 19 °C, ralentizándose el proceso cuando las temperaturas mínimas diarias descienden hasta 10 – 15 °C o las máximas diarias superan valores de 20 – 22° C. Cuando las temperaturas mínimas diarias caen por debajo de 10 °C o las máximas superan los 25°C la tasa de germinación en la especie es prácticamente nula. El choque térmico producido por un incendio (con temperaturas superiores a 100°C) reduce drásticamente la viabilidad de los piñones situados en el suelo, pero no así la de los piñones contenidos en las piñas serotinas (Ne'eman et al. 2004). En cuanto al contenido de humedad del sustrato, la germinación se produce en niveles aceptables a partir de valores en torno a 15-20%, requiriéndose una precipitación mínima de 20-30 mm antes de producirse la regeneración (Agència Local de Desenvolupament Forestal, 2003)

El periodo estival, asociado a elevadas temperaturas (máximas diarias superiores a 40°C) y marcada sequía (precipitación prácticamente nula durante 1-5 meses), constituye la fase de mayor riesgo para las plántulas recién emergidas. Pese a este marcado carácter termófilo, *Pinus halepensis* también crece en estaciones de acusada continentalidad, en las que la aridez estival se ve acompañada con temperaturas mínimas absolutas que alcanzan -20°C en invierno (Monegros, Alcarria), y que suponen un factor adicional de riesgo para la supervivencia de las plántulas.

La temperatura ambiente y el nivel de humedad edáfica requeridos permite que la germinación del piñón de *Pinus halepensis* y posterior establecimiento de las plántulas se concentre durante los meses de otoño. El hecho de que el piñón de *Pinus halepensis* no requiera un periodo de dormición invernal (Daskalakou y Thanos, 1996; Nathan et al. 1999) permite la germinación otoñal, inmediatamente después de la dispersión natural. La inhibición de la germinación fuera del umbral de temperaturas [10 °C – 25°C] y el requerimiento de un mínimo de humedad no permite la emergencia de plántulas en los periodos críticos invernal o estival.

La sequía estival propia del medio mediterráneo puede considerarse como uno de los principales factores causantes de mortalidad durante los primeros años de desarrollo del regenerado. Incluso en las estaciones más favorables, se estima que durante el primer verano más del 50% - 60% de las plántulas emergidas mueren, mientras que la supervivencia al final del segundo verano se sitúa en torno al 20%. A partir del tercer verano la tasa de mortalidad se reduce notablemente (Trabaud, 1988; Thanos et al. 1996), estabilizándose la densidad poblacional.

Luz

Pinus halepensis es una especie con marcado carácter heliófilo (Ruiz de la Torre, 1979), capaz de obtener altas tasas de germinación a plena luz, con intensidades lumínicas superiores a 8000 lux (Scarascia y Schirone, 1984). La germinación se puede ver

inhibida en los ambientes más umbríos (intensidad 650 lux), aunque en general la intensidad luminosa tiene escaso efecto sobre la tasa y el tiempo medio de germinación.

La luz incidente sí influye de manera significativa en la supervivencia y desarrollo del regenerado, pudiendo considerarse uno de los factores de mayor importancia. Las plántulas no pueden desarrollarse a la sombra, muriendo en un periodo de tiempo inferior a dos años (Schiller, 1979). En condiciones controladas en laboratorio (Scarascia y Schirone, 1984) se ha identificado una relación directa entre la iluminación incidente y el crecimiento de las distintas partes de la plántula (en especial la raíz), alcanzándose las mayores tasas de crecimiento a plena luz. En condiciones naturales se ha encontrado que la probabilidad de establecimiento y supervivencia de las plantas aumenta con la distancia a la planta madre más cercana (Nathan et al. 2000), lo que indica la existencia de un gradiente respecto de la luz. Sin embargo en estaciones con cierto nivel de aridez, como es el caso de gran parte de las masas españolas, se propone el mantener cierto nivel de sombra o cobertura durante los dos-tres primeros años de desarrollo (ONF, 1992), algo que ya se planteó desde el inicio de la aplicación de la selvicultura reglada en la especie (Laguna, 1883). A partir de esta edad, las mayores tasas de crecimiento y supervivencia se producen a plena luz, por lo que se aconseja no extender en el tiempo esta cobertura más allá de 5 años.

Orografía

Tsitsoni (1997) identifica como factores importantes condicionantes de la regeneración natural de masas de *Pinus halepensis* en Grecia la posición en la ladera y la pendiente. Según el autor la regeneración se consigue más fácilmente en la parte baja de las laderas y en las zonas de menor pendiente, debido a la mayor acumulación de suelo y nutrientes en estas zonas. Este factor tiene mayor importancia en la regeneración post-incendio, donde la pérdida de suelo por erosión puede limitar el establecimiento del regenerado.

Con respecto a la orientación, Martínez-Sánchez et al. (1996) indican mayores valores de regeneración en las laderas de solana que en las de umbría, poniendo nuevamente de manifiesto el carácter heliófilo de la especie.

Litología y sustrato

Pinus halepensis regenera con facilidad en una amplia gama de sustratos y condiciones edáficas, que abarcan desde suelos ácidos arenosos a suelos con pH básico y elevados contenidos en arcilla (Nahal, 1962). La germinación y establecimiento de las plántulas emergidas únicamente tiene problemas sobre los suelos rojos mediterráneos, que se caracterizan por ser suelos compactos, pesados, con un contenido en arcilla comprendido entre el 50-80. Las particulares condiciones texturales de estos suelos dificultan la germinación de la semilla y, especialmente, la penetración de la raíz de la plántula en el suelo.

Un caso particular de sustrato adverso - en principio - para la germinación lo constituye la gruesa capa de ceniza que recubre los suelos forestales tras un incendio (en especial el entorno de los troncos calcinados). Esta capa superficial presenta baja capacidad de retención de agua y un pH elevado (cercano a 10), factores que se ven compensados por un elevado nivel en la concentración de amonio y nitratos (Ne'eman et al. 2004). Estudios recientes han encontrado una mayor tasa de germinación en este entorno de las

semillas procedentes de piñas serotinas, lo que indicaría una selección por el fuego orientada hacia la perpetuación de los individuos con una mayor tasa de serotinia.

Competencia inter-específica

En el entorno mediterráneo, en especial en las estaciones de *Pinus halepensis* con mayor sequía estival y suelos con menor capacidad de retención de agua, el principal factor limitante para la supervivencia y desarrollo de la vegetación es la disponibilidad hídrica. La germinación e instalación del regenerado de pino carrasco puede beneficiarse por la existencia de una cubierta de matorral, al menos durante los dos o tres primeros años, por efecto del sombreado que permite reducir las pérdidas de agua por evapotranspiración (ONF, 1992). Sin embargo se ha identificado competencia entre las plántulas de pino carrasco e individuos de especies herbáceas, como *Brachypodium retosum* (Martínez-Sánchez et al. 1996), o de matorral heliófilo, como *Cistus monspeliensis* (Heras et al. 2000). Esta competencia puede alcanzar su mayor nivel en regenerados post-incendio, donde la capacidad rebrotadora de determinadas especies supone una ventaja respecto de las especies de obligada reproducción por semilla.

II.2. TRATAMIENTOS GENERALES

II.2.1. MASAS REGULARES

El temperamento intolerante de la especie, su carácter heliófilo, la resiliencia frente al fuego y la capacidad de colonización de suelos desnudos condiciona el que la forma principal más adecuada para la especie, y a la que tienden de forma natural la mayor parte de las masas, sea la masa regular, e incluso, en el caso de regenerados post-incendio, la masa coetánea.

De acuerdo a los caracteres culturales de la especie, el tratamiento general más adecuado *a priori* para el mantenimiento y perpetuación de una masa regular de pino carrasco sería, en la mayor parte de las estaciones, la corta a hecho. Este tratamiento puede aplicarse en una única intervención o en dos tiempos. En el caso de la corta a hecho en un tiempo la forma y tamaño de las cortas vienen condicionados por la distancia de dispersión del piñón, que rara vez supera los 25 -30 metros. De acuerdo a esto, las cortas a hecho se aplicarán sobre recintos o parcelas de superficie inferior a 2 hectáreas, o por fajas discontinuas de anchura máxima 30 – 40 metros. En el caso de la corta a hecho en dos tiempos en la primera intervención se dejarán 50-60 pies semilleros por hectárea (Ciancio, 1986; Agència Local de Desenvolupament Forestal, 2003), seleccionados de acuerdo a su fenotipo y que se encuentren distribuidos uniformemente dentro de la superficie de intervención. Estos pies deben eliminarse en un plazo no superior a 5 años (ONF, 1992), al objeto de garantizar que tras la protección inicial al regenerado éste pueda desarrollarse con normalidad.

La aplicación de cortas por aclareo sucesivo uniforme ha fracasado en gran parte de las estaciones francesas donde han sido aplicadas (Bedel, 1986). El método propuesto planteaba la aplicación de tres intervenciones (corta diseminatoria, una única corta aclaratoria y corta final) a lo largo de un periodo de regeneración de 20 años. El mantenimiento del estrato arbóreo durante un largo periodo provocaba un escaso desarrollo en el regenerado, y altas tasas de mortalidad en las zonas de menor iluminación, lo que se desaconsejó su aplicación en las estaciones más septentrionales.

Sin embargo, Cal (1994), recomienda la aplicación del método de cortas por aclareo sucesivo uniforme para conseguir la regeneración de las masas xerófilas de pino carrasco del levante español, utilizando un periodo de regeneración máximo de 10-15 años. Durante este periodo se aplicarán las siguientes cortas:

- Año 0: corta preparatoria, que no se considera necesaria en el caso de haber aplicado una selvicultura intermedia que haya orientado a la masa a una densidad de entrada en regeneración en torno a 200-250 pies/ha
- Año 5: corta diseminatoria fuerte, en la que se reduzca la densidad hasta 100-125 pies/ha
- Año 10: corta aclaratoria fuerte: dejar 20 – 40 pies/ha, los mejores productores de semilla
- Año 15: corta final, donde deberán eliminarse los pies remanentes y los individuos procedentes de regeneración anticipada que hubieran podido incorporarse a la masa antes del inicio de las cortas de regeneración, y que constituyen un obstáculo (por sombreado) al desarrollo del regenerado instalado.

González-Rincón et al. (2000) y DGMN-Murcia (2006) proponen una gestión similar para las masas productoras de pino carrasco de la región de Murcia, aunque aplicando las cortas de aclareo sucesivo en bosquetes de tamaño medio, en los que se elimina entre el 50-75% del arbolado en la corta diseminatoria, y aplicando una única corta aclaratoria-final en las mejores estaciones. Actualmente, y al objeto de aumentar la variabilidad estructural y paisajística de los pinares, se plantea la conservación tras la corta final de algunos árboles maduros y corros de regeneración anticipada.

II.2.2. MASAS IRREGULARES

El mantenimiento de las masas de *Pinus halepensis* bajo la forma principal de masa irregular ha generado controversia entre los gestores de los pinares de pino carrasco. Los principales inconvenientes que plantea la gestión de las masas de acuerdo a este tipo de estructura son:

- Temperamento intolerante de la especie, que favorece la instalación de regenerados regulares e incluso, en el caso post-incendio, coetáneos y dificulta la supervivencia y desarrollo de las plántulas emergidas bajo la cobertura del estrato adulto.
- Mayor coste e intensidad de gestión de las masas irregulares
- Continuidad vertical del combustible por la presencia de distintos estratos, lo que favorece la propagación del fuego salvo en el caso de irregularidad por bosquetes de gran tamaño
- Interés por la obtención de productos maderables uniformes en tamaño y calidad

Frente a estos argumentos el mantenimiento de estructuras irregulares presenta notables ventajas en la gestión de masas con interés protector:

- En zonas de alto riesgo de pérdida de suelo por erosión hídrica, con masas de vocación protectora preferente, se mantiene una cobertura vegetal permanente sobre el suelo
- Mantenimiento de una producción constante de piña y semilla como garantía de regeneración frente al incendio
- Interés paisajístico y recreativo de las masas irregulares

En cualquier caso, en numerosas estaciones mediterráneas existen masas naturales de *Pinus halepensis* que presentan una estructura compleja o pluriestratificada en, resultado conjunto de perturbaciones naturales (incendio) y acción humana (pastoreo), y cuya gestión y mantenimiento requiere del planteamiento de esquemas específicos. Ciancio (1986) propone la gestión de pinares de pino carrasco como masas irregulares con mezcla íntima de edades (*futaie jardinée*). Para ello, y dado el carácter heliófilo de la especie, se requiere mantener masas abiertas, con un volumen en pie en torno a 100 - 150 m³/ha, diámetro de cortabilidad de entre 20-25 cm y periodo de rotación entre cortas de 5 – 8 años. En cada intervención, junto con las cortas de entresaca, deben aplicarse sobre el regenerado y los pies de clases diamétricas inferiores las intervenciones (aclareos, podas...) que se consideren necesarias.

Un sistema tradicional de gestión en este tipo de masas, y que debe ser evitado, ha sido la aplicación de las denominadas *cortas por huroneo anti-selvícola*, intervenciones espaciadas un periodo de 15-20 años, en las que la única operación realizada era la extracción de los pies que alcanzaban un diámetro normal superior a 40 cm. Este tipo de tratamiento dificultaba la regeneración y el desarrollo de los individuos jóvenes, puesto que no se abrían huecos en los estratos inferiores de la masa. La aplicación repetida de estas cortas tendía a la regularización y degradación de la masa, puesto que se provocaba una selección negativa en los individuos, al mantener en pie durante tiempo indefinido los peores fenotipos, que en el caso habitual de ocurrencia de incendio eran los que se reproducían (Bedel, 1986).

Nahal (1962) plantea que en las estaciones más septentrionales, frías y de menor insolación de la especie, entre las que se encuentran las del litoral mediterráneo francés, tanto el mantenimiento de una forma principal de masa regular como de una masa irregular ideal no favorece ni la iluminación de los individuos padre (no produciendo abundante fructificación) ni el adecuado desarrollo del regenerado, que crece bajo una cobertura del estrato adulto. El autor plantea el mantenimiento de una estructura irregular por bosquetes (*futaie par bouquets*) de pequeño tamaño, de 30-50 m de diámetro (0.1 – 0.2 ha), que conduciría a un mosaico de diferentes clases de edad. Este tratamiento ha sido aplicado con éxito en las masas de pino carrasco de Bouches-du-Rhone (Sur de Francia) (Bedel, 1986) y en masas de Croacia (Klepac, 1986).

Una gestión similar orientada a conseguir una irregularidad por bosquetes es la que plantean Carreras y García Viñas (1998) para las grandes superficies coetáneas repobladas con *Pinus halepensis* entre 1960-1980 en zonas de Andalucía, cuya vocación preferente es la protectora. En estas masas los autores proponen aplicar cortas según fajas onduladas, quebradas o de *tipo collar*, compuestas por casillas o escaques de 20 x 20 m de lado que se cortan a hecho. La disposición escaqueada o contrapeada de las casillas en el terreno hace que en el momento de la corta la masa circundante esté en

plena producción de semilla (30 – 45 años), lo que garantiza la llegada de semilla por dispersión lateral. Las casillas se cortan con una edad de 75 años, y se plantea un periodo de regeneración de quince años. Un cantón se compone de una serie de fajas con edades 15 – 45 – 75 (0) – 30 – 60 años, de forma tal que a nivel de cantón se consigue una estructura irregular que garantiza la cobertura continua del suelo por la vegetación.

Por último, la Office Nacional de Forets francesa (ONF, 1992) plantea la posibilidad de mantener estructuras de masa irregular por bosquetes de gran tamaño (*futaie par parquets*) de 0.5 – 2 ha, en los que se aplicarían los mismo tratamientos intermedios propuestos para las masa regulares, y que serían regenerados mediante cortas a hecho en uno o dos tiempos. Este tipo de estructura de irregularidad por bosquete de gran tamaño se está aplicando en España para las masas de pino carrasco con objetivo preferente de protección frente a erosión y escorrentía de la región de Murcia (DGMN-Murcia, 2006), proponiendo retrasar las cortas hasta edades cercanas a los 120-150 años, cuando empiecen a ser patentes signos de decrepitud en las masas, y exista gran acumulación de necromasa. El método plantea regenerar los bosquetes mediante cortas de aclareo sucesivo aplicado en un periodo de 15 años.

II.2.3. MASAS MIXTAS

Pinus halepensis aparece habitualmente asociado a otras especies coníferas (*P. pinaster*, *P. pinea*, *P. nigra*) o frondosas (*Quercus ilex*, *Q. humilis*, *Q. faginea*), conformando masas mixtas de mayor o menor complejidad. De entre estas formaciones, las de mayor importancia en cuanto a extensión superficial son los bosques mixtos de pino carrasco y encina, que ocupan grandes superficies en el Mediterráneo Occidental, en especial en Cataluña y la Provenza francesa. Este tipo de masas son formaciones de gran dinamismo, cuya evolución se ve condicionada por la ocurrencia, recurrencia e intensidad de los incendios (Broncano et al. 2005), así como por factores topográficos y climáticos, que definen un gradiente en el que el pinar domina en las estaciones más xéricas situadas a menor altitud y la encina domina en las localidades más húmedas situadas a mayor altitud (Retana et al. 1996).

La gestión tradicional de estas masas en determinadas zonas de Cataluña y de Francia planteaba el mantenimiento de dos estratos diferenciados: un fustal de pinar, orientado preferentemente a la producción de madera, y un estrato de servicio conformado por un sotobosque de encina, gestionado bajo una forma fundamental de monte bajo, y destinado a la producción de leña y ramón para el ganado. Aunque la reducción del consumo de leñas en el medio rural ha supuesto el abandono de la gestión de parte de estas masas, numerosos autores (Nahal, 1962; Bedel, 1986; Agència Local de Desenvolupament Forestal, 2003) plantean la necesidad de aplicar una selvicultura orientada al mantenimiento de estas masas mixtas, justificando esta decisión en los siguientes argumentos:

- En masas de interés protector, el mantenimiento de un sotobosque de especies rebrotadoras garantiza un rápido recubrimiento del terreno en caso de incendio forestal
- Mayor diversidad biológica
- Mayor interés paisajístico

- Mejora de las condiciones edáficas y aumento de la productividad del estrato arbóreo
- Diversificación de la oferta de productos
- Mayor protección frente a plagas

El mantenimiento y perpetuación de las masas mixtas de encina y pino carrasco obliga a favorecer a la especie que, dadas las condiciones de la estación, se encuentre en peores condiciones de vegetación. Esto implica que sin intervención o perturbación en las estaciones de mayor humedad la encina podría terminar desplazando al pinar de carrasco (Retana et al. 1996). La selvicultura propuesta para este tipo de masas se fundamenta en mantener y controlar el sotobosque de encina como monte bajo, aplicando cortas a hecho en turnos de 15-20 años, y gestionar el estrato arbóreo como monte alto regular, en turnos de 75-80 años, ordenando las cortas en el tiempo de forma tal que el inicio de la corta de regeneración del pinar se realice inmediatamente después (a lo sumo, separadas un año) de una corta en el sotobosque de encina. Esta medida tiene como objeto el que la aún escasa y poco desarrollada cobertura del rebrote de encina no impida el establecimiento y desarrollo del regenerado de pino, e incluso lo proteja y favorezca durante los primeros años. Una vez transcurrido un periodo de 4-5 años, se podrán aplicar limpieas puntuales sobre la encina al objeto de favorecer el crecimiento de los pinos.

.

III. TRATAMIENTOS CULTURALES

III.1. LIMPIAS

La realización de limpieas es una medida necesaria en algunos pinares de carrasco, especialmente en pinares regenerados tras incendio donde la abundancia de matorral puede comprometer un adecuado desarrollo del arbolado, incrementando además el riesgo de ocurrencia de un nuevo incendio. El principal inconveniente de las limpieas es su elevado coste económico, que hace inviable la aplicación de esta práctica sobre superficies continuas de gran extensión.

No obstante, la eliminación del estrato arbustivo junto con parte del arbolado es una intervención habitual en la prevención de incendios forestales, pero son tratamientos que se sólo se aplican en franjas lineales con el fin de romper la continuidad vertical y horizontal de la masa forestal (Agència Local de Desenvolupament Forestal, 2003).

El objetivo principal de las limpieas es asegurar un buen desarrollo del regenerado, no influyendo tanto en la estructura futura de la masa. Heras et al. (2002) encontraron que la realización de limpieas durante los dos primeros años tras el incendio redujo la mortalidad del regenerado de pino carrasco en una masa con abundante presencia de matorral. Sin embargo, en un ensayo en el que se comparó el efecto de la aplicación, de clareos, desbroces y podas sobre el crecimiento y la fructificación (transcurridos cinco años desde la intervención) se obtuvo que la realización de desbroces no mejoró significativamente el crecimiento de los árboles ni su fructificación, excepto cuando se combinaban con la realización de clareos (González-Ochoa et al., 2004)

III.2. CLAREOS

La necesidad de realizar un clareo viene determinada fundamentalmente por la densidad de la masa y por las intervenciones posteriores que se prevean aplicar. En las masas naturales de pino carrasco son frecuentes las densidades elevadas en las clases de edad de repoblado y monte bravo, especialmente en masas procedentes de regeneración post-incendio, donde a menudo se superan valores de 10.000 pies/ha, pudiendo llegar a alcanzar 100.000 pies/ha (Rodrigo et al., 2004) gracias al abundante banco de semillas presente en los conos serotinos. Estas espesuras excesivas ponen en riesgo el desarrollo posterior de la masa, ya que se puede producir fácilmente un estancamiento del rodal potenciado por la escasa diferenciación social derivada del hecho de ser masas regulares casi coetáneas. Por otra parte, se trata de masas con un elevado riesgo de incendios. En estas circunstancias, los clareos se convierten en una intervención selvícola imprescindible para el adecuado desarrollo de la masa. Aunque las densidades no sean tan elevadas, la realización de un clareo puede ser conveniente para favorecer el crecimiento de los árboles que quedan en pie y mejorar su estabilidad frente al viento.

La ejecución temprana de clareos, además de ejercer un efecto positivo sobre el crecimiento en diámetro de los pies residuales, aumenta la probabilidad de producción de piña en una masa joven (González-Ochoa et al., 2004; Verkaik & Espelta, 2006), aspecto de gran importancia para asegurar la regeneración post-incendio en el caso de fuegos recurrentes. Los clareos serán semisistemáticos o selectivos en función de las condiciones de la estación, aplicando un criterio de selección negativo al objeto de eliminar los pies malformados, dañados y moribundos. La densidad más frecuente tras la intervención suele ser 1.500 pies/ha, aunque en algunos casos se proponen densidades inferiores. Con densidades iniciales excesivas puede ser necesaria la aplicación de dos clareos para garantizar la estabilidad de la masa, aunque en la mayor parte de los casos es suficiente con un única intervención. Si las densidades son relativamente bajas se puede evitar el clareo y esperar a que los pies alcancen una dimensión de interés comercial para realizar la primera intervención.

La ONF francesa (Office National des Forêts, 1993) recomienda intervenir cuando la altura dominante de la masas se sitúe entre 2,5 - 3 m, valor que se alcanza entre los 8 y los 15 años, según calidad de estación. En esta operación se deben dejar unos 1.500 pies/ha tras el clareo, pudiendo retrasar algo la intervención cuando las densidades iniciales son inferiores a 5.000-6.000 pies/ha. En las calidades de estación alta e intermedia propone la selección de 200 árboles de porvenir por hectárea y de 400 en la peor calidad de estación.

III.3. CLARAS

Pinus halepensis es una especie típicamente intolerante que soporta mal la competencia intraespecífica, por lo que las intervenciones de claras son claves en el desarrollo de los pinares de esta especie. El régimen de claras a aplicar en los pinares de carrasco depende de los objetivos de la masa y, en gran medida, de la estructura y el origen de la misma.

Edad de iniciación

Como especie colonizadora, el pino carrasco presenta un importante crecimiento juvenil que se ralentiza relativamente pronto al ser una especie de longevidad media-baja. Este patrón de crecimiento, con crecimientos corrientes máximos en volumen entre los 20 y los 40 años según calidad de estación (Montero et al., 2001), indican la conveniencia de realizar claras en edades tempranas, cuando existe una buena capacidad de respuesta a la clara en crecimiento.

Otro aspecto que se ve condicionado por la edad de iniciación de las claras es la fructificación. El pino carrasco es una especie que presenta una serie de adaptaciones al fuego, entre ellas la floración precoz y la presencia de piñas serotinas. Según los resultados de Verkaik & Espelta (2006), la aplicación de claras en masas de carrasco de elevada densidad procedentes de regeneración tras incendio aumenta el porcentaje de pinos que producen piñas y el número de piñas por individuo. Por otra parte, encuentran que el número de piñas serotinas que se abren aumenta con la clara, excepto cuando la intervención es temprana (clareo a los 10 años). No obstante, los beneficios de la mayor producción de piña hacen que las claras sean favorables para asegurar la regeneración ante un posible incendio.

Las masas naturales procedentes de regeneración tras incendio presentan una estructura coetánea y en ellas son frecuentes las densidades elevadas, por lo que las claras son fundamentales para evitar el estancamiento y conseguir un buen desarrollo de los árboles. En estas situaciones es importante una reducción temprana de la densidad, antes de que se estanque el crecimiento, por lo que si no se ha realizado un clareo previo la primera clara debe ser temprana (entre los 15 y 20 años).

Las repoblaciones realizadas a mediados del siglo pasado suelen presentar también densidades iniciales elevadas que, unidas a la falta de intervención y a la coetaneidad de las masas, pueden provocar un estancamiento del crecimiento. En estas repoblaciones la situación es similar a la de los regenerados densos tras incendios, siendo conveniente una reducción de la densidad a una edad temprana. En masas naturales con menor espesura así como en plantaciones con espaciamientos iniciales más amplios, se puede retrasar algo la primera clara.

Tipo de clara

Gran parte de las masas naturales y artificiales de pino carrasco tienen un objetivo preferente protector, lo que condiciona el tipo, peso y rotación de las claras a aplicar. En general, en estas situaciones las claras serán por lo bajo, de modo que se favorezca la prevención de incendios sin poner en riesgo la protección del suelo. Siempre que las condiciones de la estación lo permitan la primera clara será semisistemática con el fin de reducir costes y a la vez mejorar el acceso a la masa. En zonas con fuertes pendientes las calles serán perpendiculares a la línea de máxima pendiente, salvo en el caso de repoblaciones efectuadas en terrazas, en donde la saca de madera se realiza a través de arrastraderos; de las propias terrazas, o utilizando medios animales.

En las mejores calidades de estación, donde prevalezca un objetivo productor, el régimen de claras se puede intensificar con el fin de lograr una mayor cantidad de madera de sierra. En estas situaciones se propone aplicar claras selectivas al objeto de conseguir que los árboles seleccionados como de porvenir alcancen diámetros elevados (35-40 cm) en el menor tiempo posible. El número de pies de porvenir a seleccionar

variará entre 250-400 pies por hectárea, según calidades de estación. En una experiencia en masas de calidad media-alta se observó que la diferenciación social a los 30-35 años (altura dominante entre 9-13 m) era suficiente como para poder realizar este tipo de claras (González-Molina, 2000). Por otra parte, se debe acompañar la clara de selección de una ligera clara por lo bajo para reducir el riesgo de incendio. En el caso de masas mixtas o pinares con presencia de regenerado de otras especies, puede ser interesante favorecer la presencia de frondosas y la diversificación de la masa mediante la aplicación de este tipo de claras.

Peso y rotación

En pinares con objetivo protector las claras serán moderadas y frecuentes, con un peso por intervención no superior al 20% del área basimétrica para garantizar la protección del suelo (Serrada, 1992). Como espesura normal para una masa regular de carrasco se puede dar un valor del índice de Hart-Becking en torno al 35% (Serrada, 1992; Montero et al., 2001). No obstante, con frecuencia las rotaciones se alargan ya que por motivos presupuestarios no suelen aplicarse más de 2 ó 3 claras a lo largo del turno.

Si el objetivo es productor se puede intensificar el régimen de claras aumentando el peso de las intervenciones. En el caso de realizar claras con selección de árboles de porvenir el peso de la intervención debe ser moderado para que no haya un desarrollo excesivo del matorral, aunque debe ser lo suficientemente fuerte como para eliminar parte del estrato dominado.

En regenerados tras incendio y en repoblaciones con elevadas densidades iniciales, si se produce un retraso en la primera clara el peso de esta intervención debe ser moderado para no poner en riesgo la estabilidad de la masa ante factores abióticos.

III.4. PODAS

El pino carrasco es una especie con poda natural escasa y tardía y con dominancia apical relativamente baja en comparación con otras especies del género. Por lo tanto, las podas bajas o de penetración (hasta 1.20 metros, no superando más de la mitad de la altura del árbol) en las primeras fases de desarrollo son indicadas para favorecer la prevención de incendios y la mayor dominancia apical. Estas podas se deben hacer coincidir con el primer clareo (DGMN-Murcia, 2006).

En una experiencia en la que se compararon distintas intensidades de poda en la fase de monte bravo se obtuvo que con la mayor intensidad (2/3 de la altura total del árbol) disminuía significativamente la producción de piña y aumentaba la mortalidad, especialmente cuando el suelo era poco profundo (Orozco et al, 2005 a y b). Si las podas se combinan con clareos el efecto negativo de la poda sobre la producción de fruto desaparece al verse compensado el estrés provocado por la poda con la mayor disponibilidad de recursos debido al clareo (Orozco et al., 2005 a).

Las podas altas o tecnológicas (hasta un máximo de 2.20 metros, habitualmente), cuyo fin es el mejorar la calidad de la madera, están poco justificadas económicamente dado que el principal destino de la madera de pino carrasco es la trituración para tablero y celulosa y, en menor medida, tablilla para cajerío y embalajes. Sólo en las masas con buenos crecimientos y donde se prevea la obtención de madera de sierra se pueden aplicar podas tecnológicas en los mejores pies (árboles de porvenir), haciendo coincidir

esta operación con alguna intervención de clara (Agència Local de Desenvolupament Forestal, 2003; DGMN-Murcia, 2006).

III.5. TRATAMIENTOS PREVENTIVOS DE INCENDIOS

Los pinares de carrasco son una de las formaciones arbóreas más afectadas por los incendios forestales en España, llegando a alcanzar en algunos años el 47% de la superficie arbolada quemada (Herranz, 2000), por lo que los tratamientos preventivos de incendios adquieren una gran importancia.

Al aplicar estos tratamientos se deben cumplir los objetivos fundamentales propuestos por Vélez (1990): modificar la estructura de la masa para dificultar la propagación del fuego y diversificar las masas, respetando el paisaje y el hábitat de la vida silvestre. El tratamiento persigue la disminución de combustibles en el monte, la mejora de la estructura de la vegetación y el mantenimiento de infraestructuras de apoyo a la extinción tales como carreteras, pistas, líneas de separación de cuarteles, sendas tradicionales, cortafuegos, etc.

Además de las consideraciones comentadas anteriormente en lo referente a clareos, claras y podas, los tratamientos preventivos de incendios que deben afectar al conjunto de la masa – independientemente de la formación de estructuras lineales de defensa – son desbroces selectivos de las especies de matorral más inflamables y eliminación de los despojos producidos en las operaciones anteriores, preferentemente por trituración (Serrada, 1992; DGMN-Murcia, 2006). En las áreas cortafuegos, fajas auxiliares y áreas recreativas las podas pueden limpiar el fuste hasta mayores alturas. La necesidad de aplicar desbroces selectivos de matorral de degradación o pirófito respetando las especies que corresponden a etapas evolutivas superiores, dependerá de las características de la estación.

III.6. ESQUEMAS SELVÍCOLAS

A continuación se resumen los diferentes esquemas selvícolas propuestos por diversos autores para masas naturales y artificiales de pino carrasco en distintos ámbitos geográficos.

- UdL/CTFC (1997): *Masas con objetivo producción de madera de sierra* - clareo entre los 4 y 6 m de altura dominante según calidad de estación con densidad tras la corta de 1500 pies/ha; tres o cuatro claras a partir de los 7-9 m de altura dominante con selección de árboles de porvenir (seleccionar entre 175 y 200 pies/ha según calidad de estación) y una o dos claras posteriores por lo bajo; rotación entre claras de 2 m de crecimiento en altura dominante; poda a 4-5 m de altura de los árboles de porvenir en la primera clara; corta final de los árboles de porvenir entre los 80 y los 90 años.

- Centre de la Propietat Forestal (1997) - *masas naturales con objetivo productor-protector en Catalunya* - según la densidad inicial, clareo a 2000 pies/ha a los 10 años; tres claras posteriores cada 15 o 20 años reduciendo la densidad a 900, 600 y 400 pies/ha; en calidades de estación buenas selección de árboles de porvenir; turno entre 60 y 80 años.

- Agència Local de Desenvolupament Forestal (2003)- a) *masas con objetivo protector-productor de madera de trituración en Cataluña* - clareo o clara única entre los 8 y 15 años con densidad tras la intervención entre los 800 y 1500 pies/ha según calidades de estación; corta final entre los 35 y 45 años cuando haya aprovechamiento maderero y turno de 150 años cuando el objetivo es solo protector. b) *masas con objetivo productor de madera de sierra en Cataluña (buena calidad de estación)* - clareo entre los 8-10 años dejando entre 1000-1500 pies/ha; clara a los 35-40 años dejando de 400 a 500 pies/ha tras la claras; turno entre 60 y 70 años.

- Couhert & Duplat (1993)- a) *calidad media-alta con objetivo producción de madera de sierra en Francia* - clareo entre los 2,5 y 3 m de altura dominante a 1500 pies/ha incluyendo la selección de árboles de porvenir (200 pies/ha); poda en los árboles de porvenir a los 6 m de altura dominante; tres claras fuertes a partir de los 10,5-11 m de altura dominante cada 15 años (peso entre 35 y 45% en área basimétrica); turno entre 80 y 90 años. b) *calidad baja con objetivo protector-producción de madera de trituración en Francia*- clareo a los 2,8 m de altura dominante dejando 1000 pies/ha con selección de 400 pies de porvenir por hectárea; clara muy fuerte (50% del área basimétrica) a los 9 m de altura dominante dejando los 400 pies de porvenir; turno entre 100 y 120 años.

- Ciancio (1986)- *plantaciones con finalidad productiva en Italia*- se propone una densidad inicial entre 1600 pies /ha (2,5m x 2,5m) y 2.222 pies/ha (3m x 1,5m) y tres claras a lo largo del turno a las edades de 12, 19 y 27 años dejando para la corta final, a los 40 años, 400 pies/ha. La primera intervención es de tipo sistemática, eliminando una fila de cada tres o cada dos según densidad inicial, y claras posteriores por lo bajo de moderadas a fuertes (peso de un 30% en volumen).

En las figuras 1 y 2 se comparan algunas de estas propuestas con los datos de las tablas de producción de selvicultura variable para *Pinus halepensis* en España para las calidades de estación 20 y 14 (Montero et al., 2001). En la mejor calidad de estación se observa que la tabla de producción de Montero et al. (2001) con régimen de claras fuerte propone densidades similares a la propuesta de UdL/CTFC (1997), aunque con mayor número de intervenciones. La propuesta de Couhert & Duplat (1993) mantiene mayores densidades hasta los 15 m de altura dominante, que corresponde en esta calidad a una edad de 47 años aproximadamente. En la calidad de estación baja son mayores las diferencias entre las distintas propuestas, con el régimen de claras más temprano e intenso propuesto por UdL/CTFC (1997), y siendo la mayor densidad final la propuesta por Montero et al. (2001).

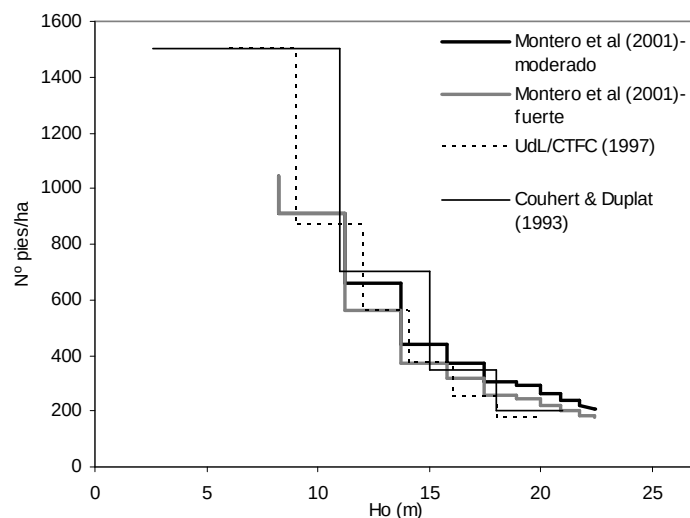


Figura 1: Evolución de la densidad (Nº pies/ha) con la altura dominante según distintas propuestas selvícolas para masas con calidad de estación alta (20 m de altura dominante a los 80-90 años)

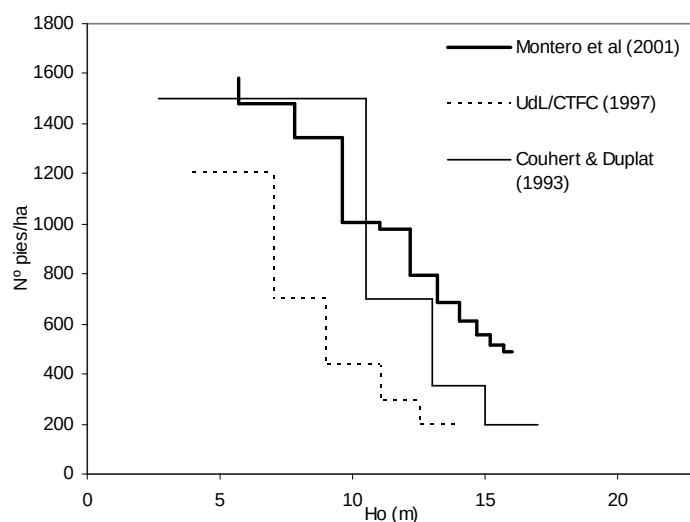


Figura 2: Evolución de la densidad (Nº pies/ha) con la altura dominante según distintas propuestas selvícolas para masas con calidad de estación media-baja (14 m de altura dominante a los 70-80 años)

IV. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

IV.1. CALIDAD DE ESTACIÓN

Actualmente se dispone de varios modelos de calidad de estación para las masas naturales de pino carrasco en España que permiten su clasificación desde un punto de vista productivo. El primer modelo de calidad de estación fue el desarrollado por Pita (1965) a partir de los análisis de tronco realizados en las 72 parcelas de producción de

pino carrasco pertenecientes a la red de parcelas del CIFOR-INIA. En este modelo se utilizó la función de Hossfeld y se establecieron cuatro clases de calidad y una edad de referencia de 40 años.

Erviti (1991) elaboró posteriormente otro modelo de calidad de estación utilizando en este caso los datos de la altura dominante observados en las parcelas permanentes del CIFOR-INIA. Este autor utilizó la función de Richards (1959) pero añadiendo una componente estocástica según la metodología propuesta por García (1983). Erviti (1991) definió cinco calidades de estación correspondientes a unas alturas dominantes de 6, 8, 10, 12 y 14 m a los 40 años.

Finalmente, utilizando los datos de las mismas parcelas permanentes pero disponiendo, de un mayor número de inventarios, Montero et al. (2001) ajustaron un nuevo modelo de calidad de estación para pino carrasco (Figura 3). En este caso también se utilizó la ecuación de Richards (1959), pero la metodología elegida fue la de la curva guía estableciendo posteriormente cuatro curvas anamórficas definidas por la altura dominante alcanzada a la edad de referencia de 80 años (calidades 11, 14, 17 y 20).

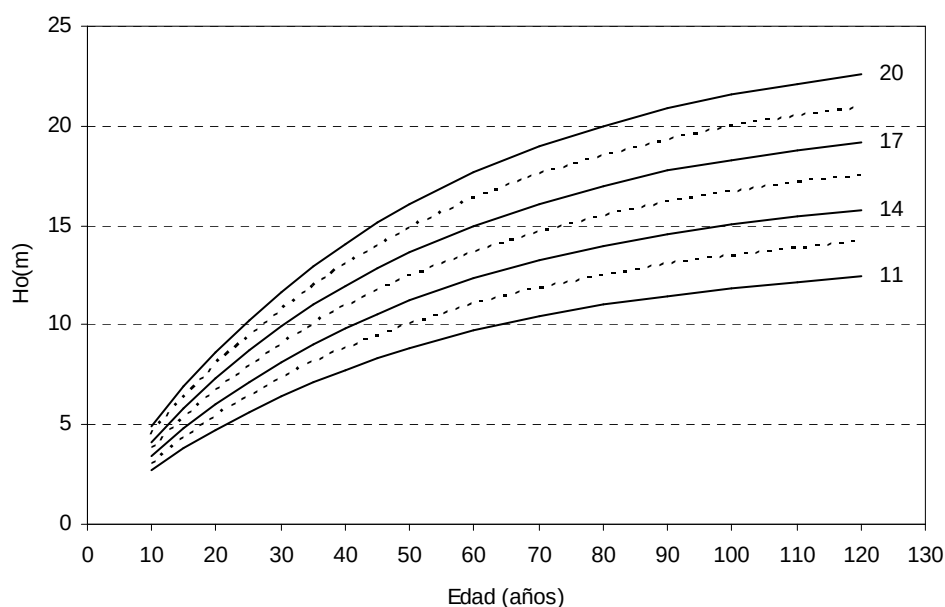


Figura 3: Curvas de calidad de estación para *Pinus halepensis* en España (Montero et al., 2001)

Además de los modelos de calidad de estación desarrollados para los pinares de carrasco españoles, existen modelos de calidad de estación para otros ámbitos geográficos. El modelo de Couhert & Duplat (1993) para las masas de la región francesa Provença-Alps-Costa Brava presenta un rango mayor de calidades de estación que las curvas españolas, con dos calidades superiores y dos inferiores adicionales (rango de 5 a 24 m de altura dominante a los 80 años). No obstante, Mundet et al. (2005), al comparar datos de pinares de carrasco muestreados en Girona con las curvas de calidad de las tablas de producción de Montero et al. (2001), encuentran que existe una calidad por encima de la superior reflejada en las tablas de producción. En el caso de las curvas de calidad para pinares de carrasco en Argelia (Franz & Forster, 1980) aumenta el rango en las calidades inferiores, mientras que en el modelo de calidad para

las masas de Israel (Röhle, 1992) se identifica una calidad de estación máxima de 28 m de altura dominante a los 50 años. Las curvas de calidad de estación propuestas por Castellani et al. (1982) reflejan mayores crecimientos en las masas italianas que en las españolas, con cuatro calidades correspondientes a índices de sitio de 10, 13.5, 17 y 20.5 m a los 40 años.

IV.2. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

De acuerdo con las tablas de producción de selvicultura variable para *Pinus halepensis* Mill. (Montero et al., 2001), los crecimientos de esta especie en el área mediterránea de la península Ibérica son relativamente bajos, inferiores a los de las estaciones francesas e italianas (tabla 1). El crecimiento corriente máximo en volumen varía de 2,1 m³/ha·año en la calidad de estación 11 a 5,4 m³/ha·año en la calidad de estación 20, alcanzándose estos crecimientos entre los 30 y 40 años de edad. El crecimiento medio máximo es de 1,5 m³/ha·año para la calidad inferior y 4,0 m³/ha·año para la superior y se producen a los 70 y 40 años respectivamente. Sin embargo, los valores máximos identificados en las tablas francesas e italianas son acordes con los datos máximos de crecimiento encontrados por Martín Bolaños (1947) en las mejores estaciones de pino carrasco en la provincia de Valencia, donde en masas de 30-35 años cita valores de crecimiento medio superiores a 10 m³/ha.año, con alturas dominantes superiores a 15 metros .

Tabla 1: Crecimientos medios máximos (m³/ha/año) en calidades bajas y altas dados en las tablas de producción de *Pinus halepensis* para distintas regiones geográficas.

Tablas de producción	Calidad baja	Calidad alta
España (Montero et al., 2001)	1,5	4,0
Provença-Alps-Costa Blava, Francia (Couhert & Duplat, 1993)	1,0	6,0
Italia (Castellani et al., 1982)	1,5	10,9
Argelia (Franz & Forster, 1980)	0,8	3,0
Israel (Röhle, 1992)	1,5	3,0
España – Levante (Martín Bolaños, 1947)*	1,0	10,9

* Datos procedentes de datos reales de inventario, no obtenidos a partir de tablas de producción

En la tabla 2 se presentan las existencias y crecimientos por clases diamétricas de las masas de pino carrasco obtenidos del Segundo Inventario Forestal Nacional. El mayor número de pies se encuentra en las clases diamétricas inferiores a 35 cm, concentrando más del 90% de las existencias totales. El crecimiento anual de los pinares de carrasco es muy superior a las cortas anuales, que en el período 1986-95 oscilaron entre 216.000 y 426.000 m³.

Tabla 2: Existencias de *Pinus halepensis* por clases diamétricas para todo el territorio nacional. Datos del Segundo Inventario Forestal Nacional.

CD	Total pies (x 1000)	G m ²	VCC m ³	VSC m ³	IAVC m ³ /año	IR (%)
5	360.102	-	-	-	-	-
10	192.111	1.489.766	5.459.035	3.767.746	343.720	6,3

15	128.487	2.233.233	8.282.165	5.707.115	410.376	5,0
20	77.205	2.374.627	9.060.060	6.488.357	357.050	3,9
25	37.561	1.801.154	7.177.487	5.292.809	240.574	3,4
30	16.492	1.139.057	4.749.976	3.577.004	140.746	3,0
35	6.940	653.889	2.847.502	2.182.911	75.532	2,7
40	2.890	357.744	1.613.975	1.253.449	38.657	2,4
45	979	153.579	729.859	575.258	15.760	2,2
50	408	79.439	385.973	307.762	7.342	1,9
55	211	49.718	252.608	205.152	4.403	1,7
60	83	23.064	118.043	97.037	1.727	1,5
65	31	9.786	47.987	40.086	638	1,3
70 y sup.	30	14.466	81.217	71.664	609	0,7
Total	823.530	10.379.522	40.805.887	29.566.350	1.637.134	4,0

IV.3. TURNO

La elección del turno óptimo de gestión en masas regulares de *Pinus halepensis* viene determinado por el objetivo preferente de la ordenación y por la reducción significativa que se observa en la producción de fruto a partir de los 80-100 años (Nahal, 1962), dependiendo de la calidad de la estación. De acuerdo a las tablas de producción de Cohuert-Duplat (1993) para las masas de pino carrasco de la Provenza francesa, los turnos de máxima renta en especie se obtienen entre los 80 (mejor calidad) y los 120 años (peor calidad). Montero et al (2001) proponen para las masas españolas turnos de máxima renta en especie algo menores, que varían entre 60 años en la mejor calidad y 80 años en la peor. Como caso extremo, Ciancio (1986) en estaciones de alta calidad en Italia plantea un turno de máxima renta en especie inferior a 40 años, y propone la aplicación de este turno de gestión en plantaciones orientadas a la producción de madera.

Los turnos de gestión aplicados en las masas de pino carrasco españolas se sitúan en los rangos definidos por los turnos de máxima renta en especie. Aunque en masas privadas con objetivo preferente de producción de madera los turnos de gestión de habitualmente utilizados se sitúan en torno a los 60 años (Cal, 1994), la mayor parte de los autores (ONF, 1992; Cal, 1992; Bernetti, 1995) proponen turnos de gestión de 70-80 años, en masas con vocación preferente productora-protectora. En el caso de masas protectoras estos turnos pueden alargarse hasta 120-150 años (DGMN-Murcia, 2006), aunque en este tipo de masas debe plantearse su transformación hacia estructura irregular por bosquetes, que pueda incluir mezclas con otras especies, de manera que se garantice una cobertura permanente del suelo por parte de la vegetación.

IV.4. MODELOS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

A pesar de que en España el estudio del crecimiento y la producción de esta especie ha sido menos intenso que en otras especies del género *Pinus*, actualmente existen varias

herramientas de gestión para pinares de carrasco. Estas herramientas varían desde diagramas de densidad hasta un modelo de crecimiento de árbol individual y están desarrolladas para distintos ámbitos geográficos.

-*Tablas de producción de selvicultura variable* (Montero et al., 2001)- Estas tablas se basan en 72 parcelas permanentes instaladas desde 1965 por el CIFOR-INIA, que cubren distintas clases de edades y calidades de estación y están distribuidas por las provincias de Albacete, Castellón, Jaén, Murcia, Teruel, Valencia y Zaragoza. A partir de las relaciones fundamentales ajustadas con los datos de estas parcelas y utilizando el índice de Hart, se establecen una tablas de selvicultura variable que incluyen dos regímenes de claras para las dos calidades de estación superiores (claras moderadas y fuertes) y un régimen de claras moderadas para las dos calidades inferiores.

-*Diagramas de densidad para la zona catalana interior y aragonesa* (Valbuena & Bravo, 2005)- Diagrama estático para el manejo de la densidad del rodal basado en datos del Inventario Forestal Nacional en las áreas geográficas Cataluña interior, Ibérico aragonés y Monegros-Depresión del Ebro. El diagrama de densidad utiliza un ajuste simultáneo de dos ecuaciones, una que relaciona el diámetro medio cuadrático con la densidad y la altura dominante, y otra que relaciona el volumen con estas dos variables y el diámetro medio cuadrático.

-*Modelo de crecimiento y producción para Cataluña* (Trasobares et al., 2005)- Modelo de árbol individual independiente de la distancia para masas regulares e irregulares, basado en datos del Segundo Inventario Forestal Nacional. El modelo incluye los siguientes submodelos, crecimiento en diámetro de los últimos 10 años, relación altura-diámetro, masa incorporada y mortalidad natural. El modelo incluye la opción de usar ecuaciones en las que se utiliza un índice de crecimiento pasado o variables fisiográficas para incluir el efecto de la estación.

V. BIBLIOGRAFÍA

ABBAS H., BARBERO M., LOISEL R. 1984. Reflexions sur le dynamisme actuel de la régénération naturelle du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans les piédes incendiés en Provence calcaire. Ecol. Medit. 10: 3-4

ACHERAT M, LEPART J, DEBUSSCHE M. 1984. La colonisation des friches par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) en Languedoc méditerranéen. Acta Oecologica 5 : 179-189

AGÈNCIA LOCAL DE DESENVOLUPAMENT FORESTAL. 2003. Silvicultura del pi blanc (*Pinus halepensis*). Dossier de Gestió Forestal, nº 4, 130 pp.

ALIA R., GALERA RM, MATÍN S. (coords). 1999. Mejora genética y masas productoras de semilla de los pinares españoles. Monografía INIA. Serie Forestal 1.

BEDEL J. 1986. Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française. Options méditerranéennes. Serie CIHEAM 86/1, 109-126.

BERNETTI G. 1995. Selvicoltura speciale. U.T.E.T., Torino, 415 pp.

BLANCO E., CASADO M.A., COSTA M., ESCRIBANO R., GARCÍA M., GÉNOVA M., GÓMEZ M., GÓMEZ F., MORENO J.C., MORLA C., REGATO P., SAINZ H., 1997. Los bosques ibéricos. Editorial Planeta, Barcelona, 572 pp.

BRONCANO MJ., RETANA J., RODRIGO A. 2005. Predicting the recovery of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* forests after a large wildfire in northeastern Spain. *Plant Ecology* 180: 47-56

CAL R. 1994. Ordenación de Pinares Xerófilos en el Levante Español. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 2: 73-86

CÁMARA A. 1999. Temperamento, Aptitud y Aplicaciones del Pino Carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) en España. Análisis mediante SIG. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

CARRERAS C, GARCÍA-VIÑAS JI., 1998. Propuesta de Ordenación de Pinares Artificiales de Carrasco y Negral en Almería. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 6: 61-66

CASTELLANI C., GHIDINI G., TOSI V. 1982. Tavole dendrometriche ed alsometrica del pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.) valevoli in Italia. Annali dell' Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Apicoltura. Volume VIII.

CENTRE DE LA PROPIETAT FORESTAL. 1997. Proposta de models de gestió forestal per comarques a Catalunya (inédito).

CHAKROUN ML. 1986. Le pin d'Alep en Tunisie. Options méditerranées. Serie CIHEAM 86/1, 25-28.

CIANCIO O. 1986. Sylviculture du Pins d'Alep. Options méditerranées. Serie CIHEAM 86/1, 47-54.

COUHERT B., DUPLAT P. 1993. Le Pin d'Alep. In Rencontre Forestiers –Checheurs en Forêt Méditerranée. La Grande Motte (34), 6-7 octobre 1993. Ed. INRA, Les Colloques 63, 233-254.

DASKALAKOU EN., THANOS CA. 1996. Aleppo pine (*Pinus halepensis*) post-fire regeneration: the role of canopy and seed banks. In. J. Wildland Fire, 6: 59 – 66

ERVITI J.J. 1991. Desarrollo de modelos de crecimiento y producción de las masas forestales de *Pinus halepensis* Mill. en España. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 312 pp.

DIRECCIÓN GENERAL MEDIO NATURAL (DGMN-Murcia) . 2003. Estrategia Forestal de la Región de Murcia. Disponible *on line*:

http://www.carm.es/siga/Estrategia_Forestal_Murcia/MURCIA/PDF/EFFinal.pdf

FERRANDIS P. 1996. Efecto del fuego sobre el banco de semillas del suelo en diferentes ecosistemas mediterráneos de Castilla la Mancha. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 350 pp.

FRANZ F., FORSTER H. 1980. Ertragstafel für die Aleppokiefer im Aurèsgebirge-Algerien. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit. Bonn. 110 pp.

- GANDULLO, J.M. (coord.) 1972. Ecología de los pinares españoles III. *Pinus halepensis* Mill. Ministerio de Agricultura – INIA. 307 pp.
- GARCÍA O. 1983. A stochastic differential equation model for height growth of forest stands. *Biometrics* 39, 1059-1072.
- GIL L., DIÁZ-FERNÁNDEZ P, JIMÉNEZ MO, ROLDÁN M, ALÍA R, AGÚNDEZ D., DE MIGUEL J, MARTÍN S, DE TUERO M. 1996. Regiones de Procedencia *Pinus halepensis* Mill. OAPN – Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 113 pp + anexos
- GONZÁLEZ-MOLINA JM. 2000. Primeras experiencias de claras selectivas mixtas en *Pinus halepensis* Mill. Cuadernos de la S.E.C.F., nº 10, 103-119.
- GONZÁLEZ-OCHOA A.I., LÓPEZ-SERRANO F.R., HERAS J. de las, 2004. Does post-fire forest management increase tree growth and cone production in *Pinus halepensis*?. *For. Ecol. Manage.* 188 (1-3), 235-247.
- GONZÁLEZ-RINCÓN A., CABEZAS J.D. 2000. Actuaciones selvícolas sobre masas de pino carrasco procedente de repoblación con objeto de aumentar su diversidad biológica: planificación y gestión a medio plazo en montes públicos de los TT.MM. de Lorca y Caravaca – Región de Murcia. Cuadernos de la S.E.C.F., nº 10, 117-126
- HERAS J. DE LAS, MARTINEZ-SÁNCHEZ J.J., GONZÁLEZ-OCHOA A.I., FERRANDIS P., HERRANZ J.M. 2000. Desarrollo y mortalidad de plántulas de *Pinus halepensis* Mill. en competencia con *Cistus monspeliensis* L. durante los cuatro primeros años post-incendio. Cuadernos de la S.E.C.F., nº 10, 37-42
- HERAS J. DE LAS, MARTINEZ-SÁNCHEZ J.J., GONZÁLEZ-OCHOA A.I., FERRANDIS P., HERRANZ J.M. 2002. Establishment of *Pinus halepensis* Mill. saplings following fire: effects of competition with shrub species. *Acta-Oecologica* 23(2), 91-97.
- HERRANZ JM. 2000. Aspectos botánicos y ecológicos del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.). Cuadernos de la S.E.C.F., nº 10, 13-17.
- HERRANZ JM, MARTÍNEZ SÁNCHEZ JJ., MARÍN A, FERRANDIS P. 1997. Post-fire regeneration of *Pinus halepensis* in a sem-arid area in Albacete province (southeastern Spain). *Ecoscience*, 4: 86-90
- LAGUNA M. 1883. Flora Forestal Española. Madrid.
- KLEPAC D. 1986. Le pin d'Alep en Dalmatie. Options méditerranées. Serie CIHEAM 86/1, 29-42.
- MAGINI E. 1955. Sulle condizioni di germinazioni del pino d'Aleppo e del pino domestico. *Italia Forestale e Montana* 3: 106-124
- MARTÍN BOLAÑOS M. 1947. Ensayo de investigación indirecta sobre el Origen, Desarrollo y Producciones del monte alto. Monografía IFIE 34. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 143 pp.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ JJ, HERRANZ JM, GUERRA J, TRABAUD L. 1996. Natural recolonization of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinaster* Aiton in burnt forests of the Sierra de Alcaraz-Segura mountain system (SE Spain). *Ecol. Medit* 22: 7-24

- MONTERO, G. 1999. Breve descripción del proceso repoblador en España (1940-1995). Documento Interno. CIFOR-INIA.
- MONTERO G., CAÑELLAS I., RUÍZ-PEINADO R. 2001. Growth and yield models for *Pinus halepensis* Mill. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. 10(1), 179-201.
- MORAVEC J. 1990-Regeneration of NW African *Pinus halepensis* forests following fire. Vegetatio 87: 29-36
- MUNDET R., MEYA D., AUNÓS A. 2005. Caracterización tipológica de las masas monoespecíficas regulares de *Pinus halepensis* de la provincia de Girona. 4º Congreso forestal español, mesa 3, pag 233.
- NAHAL I. 1962. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller). Ann. Ec. Nat. Des Eaux et Forêts 19(4) : 473-686
- NATHAN R, NE'EMAN G. 2000. Serotiny, seed dispersal and seed predation in *Pinus halepensis*. En Ne'eman G. y Trabaud L. (eds). Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuy Publishers, Leiden, pp. 105-118
- NATHAN R., SAFRIEL UN, NOY- MEIR I, SCHILLER G. 1999. Seed release without fire in *Pinus halepensis*, a mediterranean serotinous wind-dispersed tree. Journal of Ecology 87: 659-669.
- NATHAN R., SAFRIEL UN, NOY- MEIR I, SCHILLER G. 2000. Spatitemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepenss* trees. Ecology 81(8): 2156-2169
- NE'EMAN G, GOUBITZ S, NATHAN R. 2004. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire – a critical review. Plant Ecol. 171: 69-79
- O.N.F. 1992. Le pin blanc : une espèce provençale en plein essor. Forêt méditerranéenne 13 : 207-215
- O.N.F., 1993. Sylviculture du pin blanc. Bulletin technique de l'O.N.F., nº 25. Direction Régional PACA.
- OROZCO E., JORDAN E., MARTINEZ-SÁNCHEZ J.J. 2005 a. Análisis de la influencia de las podas y los claros en pinares de *Pinus halepensis* Mill. sobre la cantidad de fructificación. 4º Congreso forestal español, mesa 3, pag 229.
- OROZCO E., JORDÁN E., DEL POZO E., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ J.J. 2005 b. Análisis de la mortalidad de árboles de *Pinus halepensis* Mill. tras aplicarles tratamientos selvícolas de podas. 4º Congreso forestal español, mesa 3, pag 230.
- PAPÍÓ C. 1994. Ecologia del foc i regeneració en garrigues i pinedes mediterrànies. Institut d'Estdis Catalans. 292 pp.
- PITA P.A., 1965. Clasificación provisional de las calidades de la estación en las masas de pino laricio y de pino carrasco de la Península Ibérica. Anales del IFIE, 1(10), 35-59.
- RETANA J., ESPELTA JM, GRACIA M. 1996. Caracterización de masas mixtas de pino carrasco y encina en el Montseny (nordeste Península Ibérica). Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 3: 167-173

- RICHARDS F.J., 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10, 290-300.
- RODRIGO A., RETANA J., PICÓ F.X. 2004. Direct regeneration is not only response of mediterranean forests to large fires. *Ecology* 85, 716-729.
- RÖHLE H. 1992. Ertragstafel für die Aleppokiefer in Israel. Lehrstuhl für Waldwachstumkunde der Universität München. 65 pp.
- ROYO A. 1994. Estudio de la regeneración natural tras un incendio forestal de *Pinus halepensis* Mill. en “Sa Serra de Na Burguesa”, Mallorca (Balears). Trabajo Fin de Carrera. ETS Ingenieros de Montes. 128 pp + anexos (inédito)
- RUIZ DE LA TORRE J. 1979. Árboles y Arbustos. ETSI de Montes. Madrid. 512 pp.
- SERRADA R. 1992. Selvicultura de las coníferas. Curso sobre selvicultura y ordenación de los bosques mediterráneos. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Producción Vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de Lleida (inédito).
- SCARASCIA-MUGNOZZA G., SCHIRONE B. 1984. Effetti dell’intesita luminosa sullo sviluppo dei semenzali di pino d’Aleppo. *Annali Accademia Italiana Scienze Forestale*. 33: 137-153
- SCHILLER G. 1979. Factors envolved in natural regeneration of Aleppo pine. Ph.D. dissertation. University of Tel-Aviv.
- THANOS CA, DASKALAKOU EN, NIKOLAIDOU S. 1996. Early post-fire regeneration of a *Pinus halepensis* forest on Moun Parnis, Greece. *J. Veg. Sci.* 7: 273 – 280
- THANOS CA, DASKALAKOU EN. 2000. Reproduction in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. En Ne’eman G. y Trabaud L. (eds). *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and Pinus brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Backhuy Publishers, Leiden, pp. 79-90
- TRABAUD L., 1988. Survie des jeunes plantules de pin d’Alep apparues après incendie. *Stud. Oecologia* 5 : 161-170
- TRASOBARES A., TOME M., MIINA J. 2004. Growth and yield model for *Pinus halepensis* Mill. in Catalonia, north-east Spain. *For. Ecol. Manage.* 203, 49-62.
- TSITSONI T. 1997. Conditions determining natural regeneration alter wildfires in the *Pinus halepensis* (Millar) forests of Kassandra Peninsula (North Greece). *For. Ecol. Manage.* 92: 199-208
- UdL/CTFC (Universitat de Lleida/Centre Tecnològic Forestal de Catalunya), 1997. Pla de Producció Forestal pilot per a la comarca del Solsonès (inédito).
- VALBUENA P., BRAVO F. 2005. Diagramas para el manejo de la densidad de rodales de pino carrasco (*Pinus halepensis* Millar) en la zona catalana interior y aragonesa. 4º Congreso forestal español, mesa 3, pag 238.
- VELEZ R. 1990. Algunas observaciones para una selvicultura preventiva de los incendios forestales. *Ecología. Fuera de Serie* 1: 561-571.

VERKAİK I., ESPELTA J.M. 2006. Post-fire regeneration thinning, cone production, serotiny and regeneration age in *Pinus halepensis*. For. Ecol. Manage. (en prensa)