

XVI

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
LAS MASAS ARTIFICIALES DE PINO SILVESTRE
(*Pinus sylvestris L.*) EN LA SIERRA DE LOS FILABRES
(ALMERÍA)

RAFAEL M^a NAVARRO CERRILLO⁽¹⁾, ÁNGEL FERNÁNDEZ CANCIO,
ROCÍO FERNÁNDEZ CANCIO, ANTONIO LARA, CARMEN CALZADO

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería Forestal-Universidad de Córdoba.

INTRODUCCIÓN

El decaimiento forestal es un término ampliamente utilizado para describir el estado de deterioro de los ecosistemas forestales incluyendo cambios metabólicos, problemas de reproducción, prematura senescencia de la hoja, decoloración, disminución y alteraciones del crecimiento, alteraciones de las ramas y de la morfología de la copa, pérdida de follaje, y finalmente la muerte del árbol. Los primeros síntomas de estos tipos de daños aparecieron en Alemania al inicio de la década de los 1970, primero en abeto (*Abies alba* Mill.), y rápidamente se generalizaron a picea (*Picea abies* Karst.) y pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y finalmente a frondosas. Los procesos de decaimiento han sido estudiados con bastante profundidad en los últimos años, proponiéndose numerosas hipótesis para su explicación. Las hipótesis propuestas son muy variadas: malas prácticas selvícolas, toxicidad por aluminio en suelo ácidos, drenaje de nutrientes minerales por la acción de la lluvia ácida, polución debida a ozono/fotoquímica, contaminación por dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, cambio climático, desequilibrios nutricionales como consecuencia de excesos o déficit de nitrógeno en el suelo (Wellburn, 1994). En los 1990's se generalizó la hipótesis de multi-estrés. Esta hipótesis enfatiza la interacción entre factores abióticos y bióticos (por ejemplo, clima, insectos, hongos) y diferentes formas de estrés antropico, por ejemplo polución o prácticas selvícolas inadecuadas (Klap *et al.*, 2000). Es difícil determinar la contribución relativa de los factores que suponen interacciones entre la litosfera, biosfera y atmósfera e lo largo de los ecosistemas forestales. Esto es especialmente evidente en los estudios en masas artificiales, donde la naturaleza del ecosistema y su origen dificultan la definición de causas exclusivas que puedan explicar los procesos de decaimiento. La amplia diversidad de causas propuestas para los decaimientos forestales fortale-

ce la idea de que no existe una sola explicación sino varias para los decaimientos forestales.

Durante las últimas décadas del siglo XX, se han descrito varios síndromes de decaimiento en coníferas a lo largo del ámbito mediterráneo. Recientemente, se han detectado casos de decaimiento asociados a patógenos, al cambio climático o a la interacción entre ambos factores (Busotti *et al.*, 1998). Así se han descrito procesos de deterioro de bosques costeros en diversas regiones mediterráneas (Italia, Francia y España), y recientemente, se observaron síntomas similares en la costa de Barcelona en España (Astorga *et al.*, 1993). En España y Grecia se han registrado casos de decaimiento de *Pinus halepensis*, que evidenciaba un atípica sintomatología (clorosis) que se atribuyó a la acción del ozono (Gimeno *et al.*, 1995) y al cambio climático (Sabaté *et al.*, 2002). Por otro lado, en los últimos años se han documentado varios casos de mortandad de arbolado, en particular de pino silvestre, en Cataluña (Sabaté *et al.*, 2002; Martínez-Villalta y Piñol, 2002).

El problema de decaimiento de pinares en la S^a de Filabres se viene observado desde comienzos del año 20001. Los daños han experimentado un progresivo aumento hasta cubrir una gran superficie de repoblaciones de pino silvestre y pino salgareño. Por tanto, el presente estudio surge por la necesidad de realizar un diagnóstico del decaimiento de las masas de pinares de repoblación en la Sierra de Filabres (Almería), en particular de *Pinus sylvestris* L. El análisis de las causas de este proceso de decaimiento se ha enfocado desde dos perspectivas diferentes:

- Un enfoque fitoclimático (Allue, 1990) a partir de la fitoclimatología de las especies de pino objeto de estudio y su adecuación a la S^a de Filabres.
- Un estudio de crecimiento mediante dendrocronología.

MATERIAL Y MÉTODOS

Fitoclimatología de pino silvestre

La zona de estudio fue definida a partir de la cartografía actualizada para la especie en la S^a de los Filabres (Abellanas *et al.*, 2004), y que sirvió de base para una evaluación de los niveles actuales de afectación (Navarro *et al.*, 2006).

A partir de la Red de Equilibrios Biológicos de Andalucía se han seleccionado cinco estaciones meteorológicas en el entorno de la Sierra de

los Filabres. La simulación de las estaciones se ha realizado con el Sistema Informático GENPT (Fernández Cancio y Manrique, 2001). Los algoritmos de este programa trabajan combinando métodos de aproximación lineal por gradiente combinando medias, regresiones y estabilización de la varianza y son suficientemente exactos (error cuadrático medio menor de 0,5° C en temperaturas y de 5-10% en precipitación), cuando las estaciones de referencia a los puntos (las estaciones que sirven para calibrar, verificar y medir la calidad del ajuste) son de una calidad aceptable. Los sistemas fitoclimáticos empleados corresponden al Sistema Bioclimático de Rivas Martínez (Rivas Martínez, 1989; Rivas Martínez y Loidi, 1999) y al Sistema Fitoclimático de Allué (Allué, 1990).

Las variables empleadas en el análisis fitoclimático en el ámbito nacional son 63 (Fernández Cancio *et al.*, 2002, 2003), seleccionadas por su capacidad discriminante de cada una de estas variables en la vegetación potencial.

Estudio dendrocronológico

El estudio de crecimiento del tronco y de formación del anillo de pino silvestre y pino salgareño en la S^a de los Filabres se ha realizado sobre un total de 14 árboles de silvestre distribuidos al azar en la masa. La elección de los lugares de muestreo se ha realizado, en primera instancia, a partir de la revisión del mapa de coberturas de pinares, y de la información suministrada por el equipo de Equilibrios Biológicos de EGMASA, y de los agentes forestales de la zona, evitándose seleccionar ejemplares en condiciones topográficas singulares o con crecimiento anormal. La extracción de las muestras o *cores* se llevó a cabo mediante el derribo del árbol. Las muestras se tomaron cortando secciones del tronco a 1,30 m (Stokes y Smiley, 1996), que es la altura recomendada para este tipo de estudios con el fin de reducir la variabilidad dentro de cada árbol. Siempre que ha sido posible se han extraído dos muestras de cada árbol, e incluso tres o más en los casos en que alguna de las dos primeras la madera se encontrara en mal estado.

Una vez en el laboratorio, los testigos se secaron al aire y luego se procedió a lijarlos y pulirlos con un número variable de lijas de distinto grosor de grano, hasta conseguir una visión suficientemente nítida como para realizar una medición exacta del grosor de los anillos. Posteriormente se procedió a la identificación de los anillos de crecimiento y la medida de

los mismos (52 cores). Para ello se utilizó un scanner Hp scanjet 4570C y el programa de WinDendro® (Regent Innstruments Inc, 2004), diseñado específicamente para estudios dendrocronológicos. Este programa permite, no sólo el almacenamiento de los datos de las medidas, sino también su posterior tratamiento de *sincronización y estandarización*

RESULTADOS

Fitoclimatología de pino silvestre en la S^a de los Filabres

En el estudio de los compendios fitoclimáticos los puntos de la REBA entre 1911 y 2002 (Fig. 1) muestra que la precipitación media estimada en casi un siglo fue de 387 mm., mientras que la precipitación media mínima que se detecta en las masas naturales de pino silvestre en España es de 428 mm. Es decir, en la S^a de los Filabres existe casi un 10% menor que la precipitación mínima exigible considerando todo el intervalo de existencia temporal de la serie de estudio. La elección de esta especie en una localización con tan baja precipitación, podría explicarse considerando que las repoblaciones se realizaron en su mayor parte entre 1970 y 1975. La información climática de las estaciones meteorológicas tuvo que ser la reflejada en períodos anteriores y parte de ella no es mucho más antigua que 1950. La elección de un período entre 1950-1970, fase excepcionalmente lluviosa en todo el milenio y probablemente la más lluviosa del mismo, posiblemente indujo a un error ya que la precipitación observada para ese período fueron admisibles para el pino silvestre, ya que se obtienen 419.6 mm. y este período es el que probablemente fue accesible a los técnicos en el momento de tomar la decisión de repoblar en la S^a de los Filabres.

El mínimo absoluto de precipitación se registró en 1988 con 288 mm. e indica un período de casi insuperable estrés para los pinos silvestres, los cuales sólo pudieron mantenerse gracias a la innivación y a los niveles freáticos alcanzados en la década anterior. El incremento de temperatura actual impide que la nieve permanezca por períodos amplios en la sierra. La recuperación pluviométrica desde 1988 es también engañosa, ya que aunque alcanzase los 420 mm. de nuevo como en períodos anteriores, el balance precipitación – temperatura es cada vez más desfavorable. De igual manera la ausencia de un sistema fitoclimático ajustado dificultó una buena elección de las repoblaciones, ya que se hubiese detectado la presencia del subtipo IV(VI)₁ y la tendencia hacia el VI(IV)₁ (datos no incluidos), tipos que no son compatibles con masas de pino silvestre en ningu-

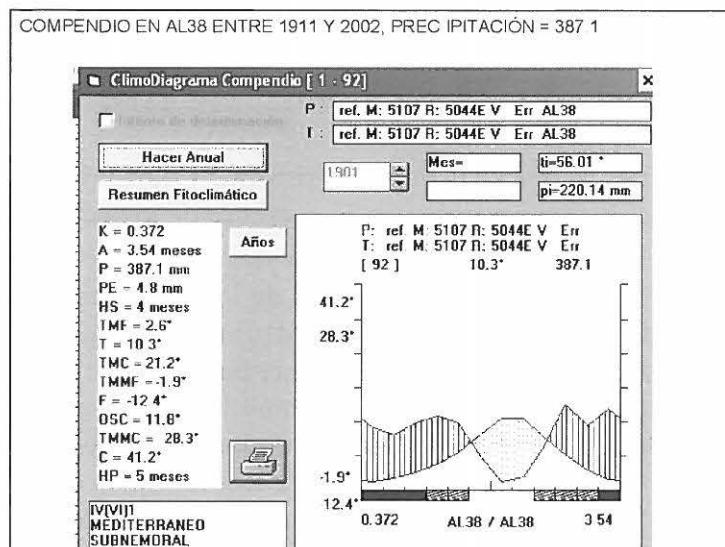


Figura 1.- Compendio de las variables fitoclimáticas en el punto Al38 entre los años 1911 y 2002

na zona de España. Sólo podrían aparecer pies sueltos en la alta montaña mediterránea si el subtipo fitoclimático fuese VI(VII) con tendencias hacia el VIII(VI) o hacia el VI(IV)₂ y en puntos compensados térmica e hídricamente si sólo aparece el VI(VII) puro de carácter subestepario con poca precipitación en estas sierras. El subtipo que puede aparecer en las zonas más altas de las montañas béticas es el IV(VII), muy similar al IV(VI)₁, aunque algo más frío o un subtipo intermedio que todavía queda por definir por falta de datos y que permite la existencia de laricio y silvestre sin formar masas naturales densas. El alturas superiores a los 1900 metros de altitud podría mantener pies sueltos de pino silvestre compensados, como en el caso de los pinsapares o como en las formaciones abiertas de las Sierras de Baza, Sierra Nevada y los pinares de laricio de Sierra María y Sierra de los Filabres con enclaves que poseen pies de salgareño de más de 300 años de edad.

En estos puntos el incremento térmico que se está produciendo comienza a dar signos de aparición de trazas de VI(IV)₁ que, por insuficiencia de precipitación, nunca podría llegar al subtipo VI(IV)₂ compatible con el pino silvestre. La evolución térmica de la zona de la sierra según indica un aumento de la temperatura entre 0,5 °C en las mínimas y 1 °C en las máximas. La presencia de temperaturas mínimas en ascenso, con más in-

cidencia que las máximas, afecta negativamente a los depósitos de nieve y va en detrimento de la viabilidad de las repoblaciones. Con una aridez superior a tres meses se necesitarían más de 725 mm. de precipitación asegurada para que apareciesen analogías con el VI(IV)2 y esos valores están lejos de producirse, ya que en el máximo histórico y quizás del milenio no se superaron los 536 mm.; es decir, un 26 % menos de lo necesario.

Una de las claves para explicar la situación actual de decaimiento puede observarse en el aumento sostenido de la temperatura media de las máximas del mes de media más fría (M) (Fig. 2). El aumento de la temperatura hasta 2001 es todavía insuficiente para clasificarlo como una anomalía climática próxima a un cambio climático, pero si consideramos los períodos 1930-1980 y 1981-2001 y el % de los años que superaron o igualaron el límite de 10,8 °C de temperatura media vemos que en el primer intervalo lo hicieron un 14%, mientras que en el segundo intervalo lo hizo el 57 % de los años y de forma inversa, si consideramos el número de años que la temperatura igualó o descendió por debajo de los 9,8 °C, en el primer intervalo se cumplió en el 29% de los casos, mientras en el segundo intervalo lo hizo en un 4,7% de los casos. En este sentido si podemos hablar de un calentamiento claro desde 1980 en una banda aproximada de 1 °C. De la misma manera se observa una profunda alteración desde 1970, el estrés primaveral aumenta fuertemente en pleno período vegetativo y el aumento de temperaturas de invierno – primavera altera el régimen de permanencia de la nieve en el suelo. Ambos factores deben estar llevando a las repoblaciones a un nivel crítico, teniendo en cuenta el escaso margen de maniobra que éstas poseen desde el punto de vista ómbrico.

Lo anterior produce una transición en las zonas más elevadas del oromediterráneo (que estaría más aproximado a la existencia de pino silvestre) al supramediterráneo superior. Se especula mucho sobre la existencia del oromediterráneo en estas zonas andaluzas y quizás como media secular no exista; pero si puede haber existido a principios de siglo y en la actualidad haber cambiado desde 1970 hacia un supramediterráneo. Todas las transiciones entre pisos bioclimáticos conllevan, como en el caso de transiciones entre subtipos fisiognómicos, alteraciones de la flora y de la estructura de la vegetación.

Los datos fitoclimáticos de la red andaluza de equilibrios biológicos presentados parecen indicar que la mayor perturbación radica en el aumento del índice de termicidad con mantenimiento e incluso disminución de los valores asociados a la aridez. También se ve una seria perturbación

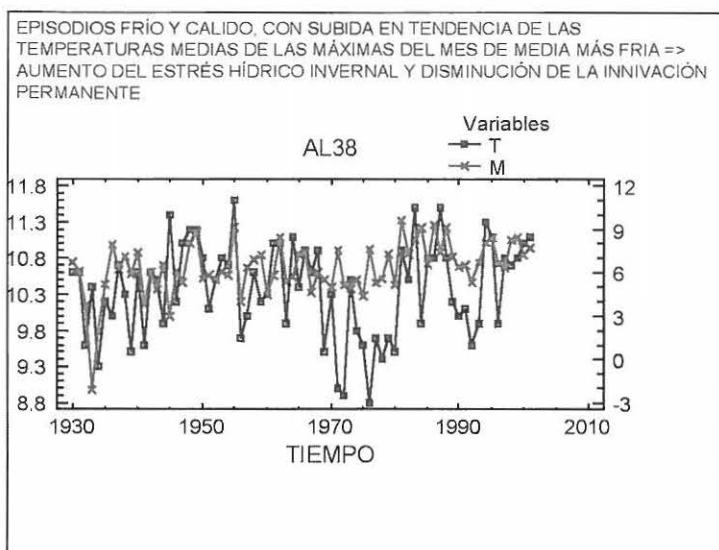


Figura 2.- Evolución de la temperatura media (T) y de la media de las máximas del mes de media más fría (M) durante el periodo 1930-2004 en la S^a de los Filabres.

estacional de primavera y un incremento del estrés térmico asociado a la oscilación diaria. La altitud de la S^a de los Filabres no es obstáculo para que se registre una salida de rango de existencia para el pino silvestre en la precipitación (Fig. 3). Los puntos de la red de equilibrios biológicos sobre la Sierra de los Filabres muestran que en el periodo 1980-1999 la precipitación es menor de 400 mm si los puntos están por debajo de los 1800 m. Esto debe hacer inviable la presencia de masas de pino silvestre en altitudes inferiores.

Un análisis conjunto de los puntos de la red a las estaciones andaluzas reales (datos no incluidos) muestra durante el periodo de 1980 a 2002, un mayor grado de deterioro en la Sierra de los Filabres. Aparentemente este deterioro es tan extremo que no permite la pervivencia de esta especie, lo que a nuestro juicio es determinante para reincidir en la imposibilidad del mantenimiento del silvestre en estas zonas. Variables tan diferentes como la altitud, el índice ómbrico de verano, la aridez, el índice ómbrico global, la intensidad de la aridez, la precipitación, los índices de forma, índices ómbricos extremos de verano e invierno, índices de mediterraneidad, índice de continentalidad, e índice de termicidad; indican que el espacio paramétrico está profundamente alterado en la Sierra de los Filabres en el

período 1980-2002, por encima de sus ya muy escasas posibilidades antes de este episodio climático, y es razonable que la mortalidad de las masas se imponga progresivamente.

Los valores compendiales indican que las masas de pino silvestre repobladas en la Sierra de los Filabres, están muy fuera de rango pluviométrico con respecto a las masas naturales de pino silvestre en España, quedando los valores ómbricos más cerca de un encinar en el extremo de sus posibilidades que de una masa nemoral aciculifolia de alta montaña. El proceso de incremento térmico ha agravado la situación desde 1970-1980, ya que la nieve no puede mantenerse largo tiempo en el suelo y las masas de más de treinta años necesitan aportes hídricos importantes. Cuando se eligió la zona para ser repoblada por pino silvestre las condiciones climáticas eran excepcionalmente húmedas, quizá en la mayor fase húmeda del milenio. El déficit de precipitación entre las fases de máxima pluviometría y las de mínima actuales es de casi un 30%. El estudio de los valores interanuales de las variables climáticas indica con claridad que entre 1970 y 1980 ha comenzado una perturbación amplia, modificando la estacionalidad de precipitaciones y temperaturas, la variabilidad y la tendencia de los valores. Como rasgos más significativos tenemos el aumento de las temperaturas, sobre todo de las máximas, el aumento de la oscilación térmica y de los extremos diarios, la disminución global de precipitación, el aumento grave de la aridez primaveral y el deterioro de todas las variables ómbricas.

Las masas de pino silvestre de la Sierra de los Filabres están notablemente fuera de estación en todas sus características bioclimáticas y deben desaparecer progresivamente, sobre todo si se implanta un cambio climático. Sólo por encima de los 1800 m. si la aridez compendial baja de tres meses y la precipitación supera los 400 mm. existe la posibilidad del mantenimiento de pies o rodales aislados y probablemente compensados hídricamente. El pino silvestre no es una especie que puede desarrollarse como masa en la Sierra de los Filabres y debe ser sustituida.

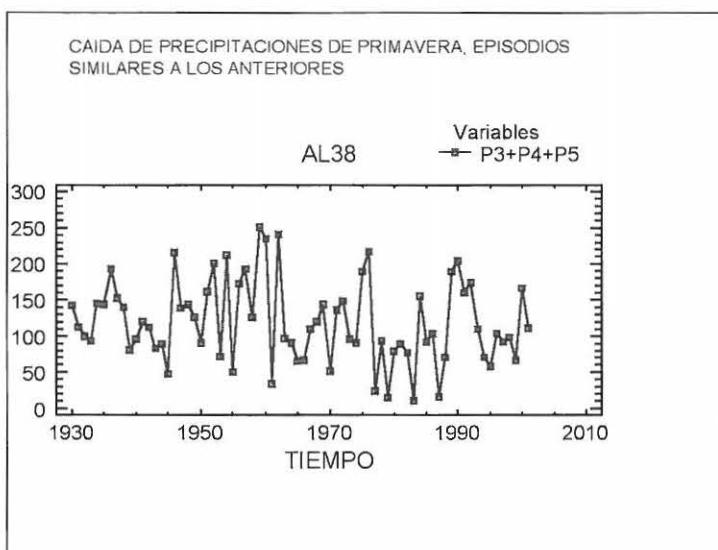


Figura 3. Caída de las precipitaciones de primavera (Marzo (P3), Abril (P4) y Mayo (P5) durante el periodo 1930-2004 en la S^a de los Filabres.

Estudio dendrocronológico

Al construir una cronología maestra con todos los árboles se ha tratado de determinar la existencia de un patrón común de crecimiento para toda el área de estudio. Este filtrado ha permitido la construcción de una serie maestra formada por un total de 52 cores, y que abarca el período comprendido entre 1970 y 2004 (Fig. 4). En la serie estudiada se han observado un conjunto de años característicos, que son aquellos cuyos anillos anuales difieren visiblemente del anterior y del posterior en algún aspecto. Estos anillos son indicadores ecológicos de factores locales o regionales y eventos que tienen influencia en el crecimiento del árbol. Al reflejar las influencias ecológicas, son de gran utilidad para establecer patrones de crecimiento geográfico y temporal. La serie comienza con un período de fuerte crecimiento (1970-1977), hasta alcanzar valores de 5 mm año^{-1} , seguida de una caída y estabilización del crecimiento por un largo período (1980-1997) en valores medios de $3,2 \text{ mm año}^{-1}$. Al final de ese período se produce una fuerte reducción en la parte final de las series (1998-2004), ocasionadas con seguridad por problemas de competencia y cambio en las condiciones climáticas, alcanzando valores de crecimiento radial próximos a cero.

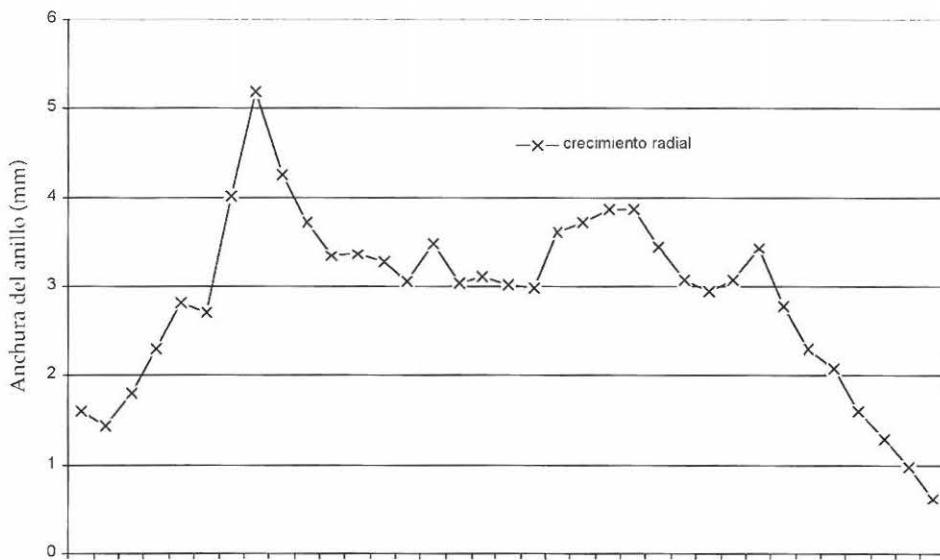


Figura 4.- Serie dendrocronológica de pino silvestre ($N=52$) en la S^a de los Filabres en el periodo 1970-2004.

A la hora de señalar un patrón de crecimiento normal para pino silvestre en la S^a de los Filabres, es destacable el intervalo 1980-1997, en el que todas las cronologías, muestran un comportamiento más regular, ya que estamos hablando de un intervalo amplio de años en el que un buen porcentaje de los árboles representados responde de la misma manera. En este caso, puede afirmarse sin dudar que estemos ante la respuesta de la masa a condiciones adecuadas de crecimiento en cuanto a densidad y competencia para esa edad. No obstante, se observan variaciones que pueden ser explicadas por factores climáticos (Fig. 5), como el mayor crecimiento inicial asociado a años particularmente lluviosos (1970-1973), la caída de crecimiento de comienzo de los 80, con mayor irregularidad climática y años particularmente secos como 1981, seguido de un periodo de sequía (1983-1985), y un incremento posterior en el periodo 1988-1992, que aunque fue particularmente seco en el resto de la península presentó un comportamiento climático más favorable en la parte oriental. Este periodo termina con la reducción brusca de la precipitación de 1993-1995, y los años lluviosos de 1996-1997. Sin embargo, después de ese año, la combinación de un cambio brusco en las condiciones climáticas (severa sequía

de 1998-1999), y el incremento de la competencia debida al crecimiento de la masa durante la década de los 90, han hecho que la masa inicie un claro declive hasta valores inferiores a 1 mm.

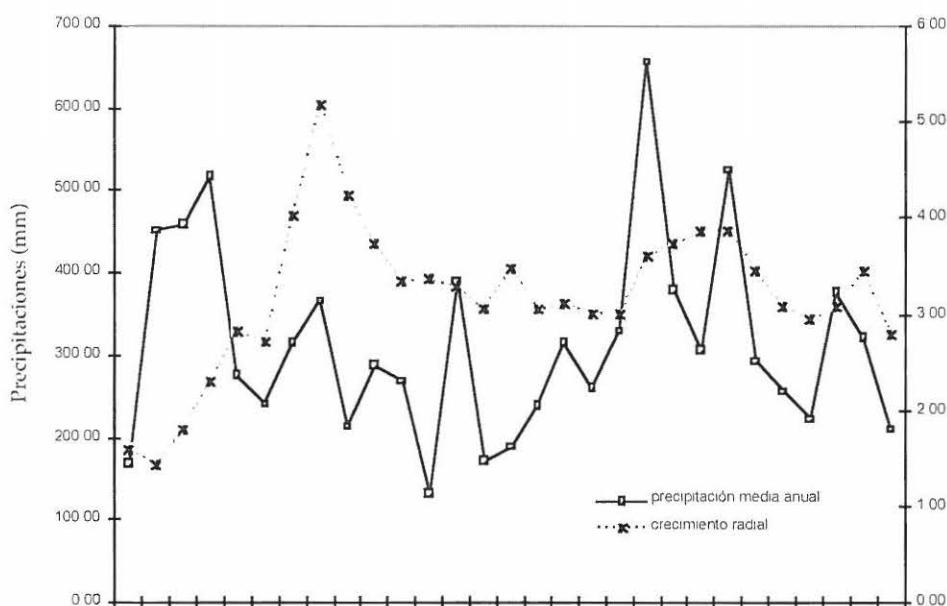


Figura 5.- Serie dendrocronológica de pino silvestre en la Sª de los Filabres comparada con el régimen de precipitación otoñal en el periodo 1970-2004.

DISCUSIÓN

El estudio fitoclimático de la Sª de los Filabres indica que las masas de pino silvestre repobladas en la Sierra de los Filabres, están muy desplazadas de rango pluviométrico con respecto a las masas naturales de pino silvestre en España, quedando los valores ómbricos más cerca de un encinar en el extremo de sus posibilidades que de una masa nemoral aciculifolia de alta montaña. Los valores de la aridez, superiores a tres meses, excluyen la presencia de esta especie que se presenta como adventicia y sólo en los lugares de alta y prolongada innivación, combinada con aportes hídricos próximos, puede sostenerse algún pie aislado.

El proceso de incremento térmico ha agravado la situación desde 1970-1980, ya que la nieve no puede mantenerse un largo periodo de tiempo en el suelo y las masas de más de treinta años necesitan aportes

hídricos importantes. La presencia - ausencia de taxones indica que la vegetación del territorio no es de carácter nemoral en ningún caso y el cortejo florístico parece aproximarse más a un encinar o a formaciones subesteparias de gramíneas que a un cortejo que permita la instalación de una especie de carácter nemoral. Este punto todavía debe ser estudiado con más cuidado. Cuando se eligió la zona para ser repoblada por pino silvestre las condiciones climáticas eran excepcionalmente húmedas, quizás en la mayor fase húmeda del milenio. El déficit de precipitación entre las fases de máxima pluviometría y las de mínima actuales es de casi un 30%. Esto explica sobradamente tanto una elección equivocada como un decaimiento masivo.

El estudio de los valores interanuales de las variables climáticas indica con claridad que entre 1970 y 1980 ha comenzado una perturbación amplia, modificando la estacionalidad de precipitaciones y temperaturas, la variabilidad y la tendencia de los valores. Como rasgos más significativos tenemos el aumento de las temperaturas, sobre todo de las máximas, el aumento de la oscilación térmica y de los extremos diarios, la disminución global de precipitación, el aumento grave de la aridez primaveral y el deterioro de todas las variables ómblicas. Las masas de pino silvestre de la Sierra de los Filabres están notablemente fuera de estación en todas sus características bioclimáticas y deben desaparecer progresivamente, sobre todo si se implanta un cambio climático. Sólo por encima de los 1800 m. si la aridez compendial baja de tres meses y la precipitación supera los 400 mm. existe la posibilidad del mantenimiento de pies o rodales aislados y probablemente compensados hídricamente. El pino silvestre no es una especie que puede desarrollarse como masa en la Sierra de los Filabres y debe ser sustituida.

La información dendrocronológica puede ser útil, no sólo para identificar la causa de los procesos de decaimiento, sino para anticipar estos procesos, como se ha podido comprobar en otros trabajos (Camarero *et al.*, 2002), y parece confirmar este estudio. Las masas estudiadas presentan una etapa inicial del crecimiento (1970-1980), que corresponde a un periodo de crecimiento muy activo, asociado a condiciones climáticas particularmente favorables, y a unas buenas condiciones selvícolas de la masa. Una segunda etapa, corresponde al periodo 1980-1993, con estabilización del crecimiento, con escasas variaciones para pino silvestre, pero con una mayor irregularidad en el caso de pino salgareño. Los valores de referencia del crecimiento radial para pino silvestre y pino salgareño en la

S^a de los Filabres podrían ser del orden 3 mm año⁻¹. Estos valores difieren mucho de los obtenidos en otras localizaciones ibéricas, con valores próximos a 2 mm (Montero *et al.*, 2001), lo cual indica que las masas de pino silvestre de la S^a de los Filabres han crecido muy por encima de los valores medios, para la misma clase de edad, que las masas de pino silvestre en otras localizaciones peninsulares. Esto puede parecer contradictorio con el estado actual de las mismas, pero debe tenerse en cuenta las condiciones selvícolas de la masa en edades tempranas, unido a unas condiciones climáticas aparentemente muy favorables para el crecimiento de la masa, en particular en el periodo 1970-1980. Los valores de crecimiento en otras localizaciones del centro y norte de Europa son todavía menores, y es frecuente encontrar un crecimiento radial inferior a 1,5 mm (Juknys *et al.*, 2003), e incluso menores (Oberhuber *et al.*, 1998).

Los perfiles de crecimiento permiten avanzar una teoría general sobre los procesos de decaimiento de pinares en la S^a de los Filabres. Las masas actuales de pinar proceden de repoblaciones relativamente jóvenes (menores de 40 años), con unas condiciones selvícolas inadecuadas (Abellanas *et al.*, 2004). Por otro lado, las series obtenidas en este trabajo parecen indicar la existencia de una señal macro climática común que indica un empeoramiento de las condiciones, que se manifiesta en las cronologías construidas a partir de las series. El resultado combinado de estas dos circunstancias produce a finales de la década de los 90 un claro deterioro de la masa, que se ve anticipado por una perdida rápida y constante del crecimiento radial. La pérdida de crecimiento asociada a procesos de decaimiento ha sido observada en otros procesos análogos, tanto para pino silvestre (Juknys *et al.*, 2003) como para abeto (Camarero *et al.*, 2002), asociados frecuentemente a procesos de defoliación (Pouttu y Dobbertin, 2000; Dobbertin y Brang, 2001). De estos dos trabajos cabe destacar por sus resultados el de Juknys y colaboradores (2003), que relaciona perdida de crecimiento radial y porcentajes de defoliación. Los resultados obtenidos por estos autores evidencian que cuando los porcentajes de defoliación superan el 60%, el crecimiento radial cae rápidamente hasta valores menores de 1 mm. Resulta, por tanto, evidente, que la perdida de crecimiento radial y los procesos de defoliación están directamente relacionados, pudiéndose establecer relaciones causa-efecto, entre el ajuste de masa foliar que han experimentado las masas de pino silvestre como consecuencia de las inadecuadas condiciones selvícolas y climáticas, y la progresiva reducción de los crecimientos observados en

los estudios dendrocronológicos, que han conducido finalmente al colapso de la masa asociado a las fuertes limitaciones hídricas. En condiciones de reducción del suministro de agua, se han documentado procesos de decaimiento con muertes súbitas y generalizadas en otras localizaciones en España (Martínez-Vilalta y Piñol, 2002) y centro europeas (Rebetez y Dobbertin, 2004).

En cuanto a la interpretación climática, se ha realizado una primera aproximación entre el crecimiento radial y algunas variables climáticas (datos no incluidos), en particular relacionadas con la precipitación a partir de los datos de la estación meteorológica de Serón, como estación de referencia. Los resultados preliminares no establecen relaciones claras entre las variables fitoclimáticas y los cambios en el crecimiento radial. Sin embargo, una comparación más descriptiva desvela que las precipitaciones, en general, no son un factor determinante en la respuesta en crecimiento, tal y como se ha documentado para otras masas de pino silvestre (Génova *et al.*, 1997; Rebetez y Dobbertin, 2004). La influencia de la temperatura, en especial las máximas y mínimas absolutas, también pueden influir en los cambios del crecimiento, aunque podrían estar más relacionados con la incidencia de plagas, en particular de nematodos, que se han asociado a daños generalizados en masas de pino silvestre en Suiza (Rebetez y Dobbertin, 2004), hipótesis que debería ser explorada para Filabres, como agente biótico secundario.

Otros ensayos de claras en masas de pino silvestre realizados en España (Montero *et al.*, 2001) parecen indicar algunas cuestiones de importancia para su aplicación práctica en el caso de la S^a de los Filabres:

1. Una actuación selvícola intensa y urgente parece ser la única alternativa real que atenúa el impacto del cambio de las condiciones climáticas actuales, y la escasa estabilidad de la masa, en particular para pino silvestre, pero también para pino salgareño.
2. Las claras selectivas, de acuerdo a lo propuesto por Abellanas y colaboradores (2005), puede ser un método selvícola adecuado para la realización de los tratamientos, ya que libera a los árboles del porvenir de la competencia de los pies más próximos, aumentando la disponibilidad de recursos para esos individuos.
3. La intensidad de la clara debería ser objeto de consideración. Una clara de intensidad baja-media (15% de los pies) como la propuesta por Abellanas y colaboradores podría ser adecuada

en términos selvícolas, y de estabilidad de la masa frente a eventos climáticos puntuales (tormentas invernales y vientos fuertes). Por otro lado, una puesta en luz brusca de la masa puede crear problemas indirectos de exceso de radiación en el suelo y fenómenos de fuerte competencia que reduzcan e incluso elimine el efecto beneficioso de la clara. Una actuación de mayor intensidad (30% de los pies) permitiría, por el contrario, eliminar un mayor numero de pies decrepitos o muertos con escasa o nula posibilidad de supervivencia, aumentaría la cantidad de recursos hídricos para la masa residual, y concentraría y reduciría los costos de extracción dada la gran superficie sobre la que habría que realizar los tratamientos. Sin embargo, una clara de esa intensidad supone también una serie de riesgos, ya mencionados, perdida de estabilidad de la masa frente a vientos y tormentas (caídas masivas de la masa residual), y un posible incremento excesivo de radiación y competencia. Por otro lado, hay que tener en cuenta que no está claro el efecto real de las claras sobre el crecimiento posterior de las masas. Se ha mencionado que las masas artificiales conservan una cierta "memoria historia" que hace que no respondan de manera inmediata al tratamiento selvícola, aunque sigue siendo la única alternativa viable de actuación (Papadopol, ¿??).

4. Las actuaciones deberían concentrarse en las masas que presentan valores de defoliación bajos o nulos, ya que son las masas que pueden beneficiarse de una actuación de esa naturaleza. Para ellos sería conveniente un estudio dendrocronológico más amplio, que establezca el estado de crecimiento de las masas de pino silvestre y salgareño, lo que ayudaría a determinar el potencial riesgo de decaimiento (y, por tanto, la urgencia de las actuaciones).

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se ha realizado con la colaboración inestimable de todos los técnicos y agentes forestales de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y de EGMASA, quienes, a través del convenio específico "Evaluación de los procesos de decaimiento en masas artificiales de pino en la S^a de los Filabres (Almería). Análisis de sus causas y alternativas de control", han aportado una importante ayuda, tanto en

lo referente a la disponibilidad de sus bases de datos como en el apoyo logístico realizado para los trabajos de campo. Asimismo, agradecemos la colaboración del profesor Carlos Gracia de la Universidad de Barcelona-CREAF, y de Estefanía Muñoz del CIFOR-INIA-Ministerio de Ciencia y Tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellanas Oar, B., Cuadros Tavira, S., Oliet Pala, J. (2004). *Estudio de optimización de las claras y clareos en la Sierra de los Filabres*. 3º Informe.
- Allué Andrade, J.L. (1990). *Atlas fitoclimático de España*. Taxonomías. Monografías del I.N.I.A. nº 69. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Astorga, T., Lopez, D., Carazo, N., Save, R., 1993. *Efecto del viento marino en la vegetacion urbana del nuevo litoral Barcelonés*. Actas II Congreso Ibérico, SECH, pp. 539-545.
- Busotti, F., Ferretti, M., (1998). *Air pollution, forest condition and forest decline in Southern europe, an overview*. Environmental Pollution 101 (1998) 49-65. Elsevier.
- Camarero, J.J., Martín, E., Gil-Pelegrín, E. (2002). *Aproximación dendroecológica al decadimiento del abeto (Abies alba Mill) en el pirineo aragonés*. Montes 70, 26-33.
- Dobbertin M., Brang, P. (2001). *Crown defoliations improves tree mortality models*. Forest ecology and management 141, 271-284.
- Fernández Cancio, A., Manrique Menéndez, E., 2001, *Programas GENPT para la reconstrucción de una estación meteorológica con resolución mensual en cualquier punto del territorio español, conocidas sus coordenadas y su altitud N° de solicitud: 106.649* Fecha de Presentación: 24/07/2001, España, 2001.
- Fernández Cancio, A., Navarro Cerrillo, R.M., Fernández Fernández, R., Gil Hernández, P., Manrique Menéndez, E., Calzado Martínez, C. 2002. *Fitoclimatología del pinsapo*. Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 43 pp
- Fernández Cancio, A., Gil Hernández, P., Navarro Cerrillo, R. M., Fernández Fernández, R., Manrique Menéndez, E. 2003. *Fitoclimatología de las especies mediterráneas de Quercus y su relación con el Cambio Climático*. Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.. 42 pp

- Génova, M., Fernández, A., Creus, J., (1997). *Ánalisis dendroclimático del crecimiento del Pinus sylvestris y Pinus nigra en la Sierra de Guadarrama.* II Congreso Forestal español. Tomo II. Sociedad española de ciencias forestales. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno foral de Navarra
- Gimeno, B.S., Peñuelas, J., Porcuna, J.L., Reinert, R.A., (1995). *Biomonitoring ozone phytotoxicity in eastern Spain.* Water Air and Soil Pollution 85, 1521-1526.
- Juknys, R., Vencloviene, J., Stravinskien, V., Augustaitis, A., Bartkevicius, E. (2003) *Scots pine (Pinus sylvestris) growth and condition in a polluted environment: from decline to recovery.*
- Klap JM., Oude Voshaar JH., De Vries W., Erisman JW. (2000). *Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe.* Part IV: Statistical analysis of relationships. Water, Air & Soil Pollut 119: 387-420.
- Martínez Villalta, J., Piñol, J., (2002). *Drought-induced mortality and hydraulic architecture in pine populations of the NE Iberian Peninsula.* Forest ecology and management 161, 247-256.
- Montero G., Cañellas I., Ortega C., Río M., (2001). *Results from a thinning regime experiment in a Scots pine natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain range (Spain).* Forest Ecology and Management, 145: 151-161.
- Navarro Cerrillo, R.M., Fernández Cancio, A., Lara Fernández, A.J., Varo Martínez, M. A. 2006. *Evaluación de procesos de decadimento en masas artificiales de pino en la Sierra de los Filabres (Almería).* Análisis de sus causas y alternativas de control. Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 169 pp
- Oberhuber, W., Stumbück, M., Kofler, W. (1998). *Climate-tree-growth relationships of scots pine stands (Pinus sylvestris L.) exposed to soil dryness.*
- Papadopol, Chris, S. (2001) *Adapting existing forest to climate change.* Green pages
- Pouttu A., Dobbertin, M., (2000) *Needle retention and density patterns in Pinus sylvestris L. in the Rhone valley of Switzerland: comparing results of the needle-trace method with visual defoliation assessments.* Can. J. Forest Res. 30, 1973 - 1982
- Rebetez, M., Dobbertin, M., (2004) *Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. Theoretical and applied climatology.*

- Rivas-Martínez S., (1989). *Memoria del mapa de series de vegetación de España, 1:400.000. Ser. Técnica, ICONA, MAPA.* Madrid.
- Rivas-Martínez, S., Loidi, J. 1999. *Bioclimatology of the Iberian Peninsula.* Itinera Geobot. 13: 41-47.
- Sabaté, S., Gracia, C. A., Sánchez, A. (2002). *Likely effects of climate change on growth of Quercus ilex, Pinus halepensis, Pinus pinaster, Pinus sylvestris and Fagus sylvatica forest in the mediterranean region.* Forest ecology and management 162, 23-37.
- Stokes, M.A., Smiley, T.L (1996). *An Introduction to Tree-Ring Dating. The University of Arizona Press.* Tucson.
- Wellburn A. (1994). *Air pollution and climate change: the biological impact.* 2nd ed. Longman Scientific & Technical, Singapore.