

Viabilidad fitoclimática de las repoblaciones de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en la Sierra de los Filabres (Almería)

A. Fernández Cancio¹, R.M. Navarro Cerrillo², R. Sánchez-Salguero^{1,2}, R. Fernández Fernández², E. Manrique Menéndez³

(1) CIFOR-INIA. Carretera de La Coruña. Km 7,5. 28040 Madrid, España.

(2) Dpto. de Ingeniería Forestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba-Campus de Rabanales, E-14071 Córdoba, España

(3) Dpto. Ciencias Básicas aplicadas a la Ingeniería Forestal. EUIT Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Ramiro de Maeztu 7, 28040 Madrid, España

➤ Recibido el 1 de marzo de 2010, aceptado el 11 de enero de 2011.

Fernández Cancio, A., Navarro Cerrillo, R.M., Sánchez Salguero, R., Fernández Fernández, R., Manrique Menéndez, E. (2011) Viabilidad fitoclimática de las repoblaciones de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en la Sierra de los Filabres (Almería). *Ecosistemas* 20(1):124-144.

La variabilidad climática actual se caracteriza por provocar cambios bruscos en los cursos fitoclimáticos, lo que está desencadenando procesos de mortalidad de especies forestales. El objetivo de este trabajo es analizar la adecuación fitoclimática de las masas artificiales de *Pinus sylvestris* L. en la Sierra de los Filabres (Almería), para lo cual se analizaron 35 variables fitoclimáticas que determinan la estabilidad climática de la especie. El estudio de los valores interanuales de las variables climáticas indica que entre 1970 y 1980 comenzó una perturbación climática amplia, modificando la estacionalidad y la variabilidad de las precipitaciones y de las temperaturas. 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. El estudio de las estaciones con masas repobladas de pino silvestre en Andalucía oriental indica que las estaciones están fuera de la nube de puntos de las masas de pino silvestre establecidas en España. Las masas de pino silvestre de la Sierra de los Filabres están notablemente fuera de estación en todas sus características fitoclimáticas y pueden desaparecer progresiva o bruscamente, sobre todo si se implanta un cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, decaimiento forestal, masas artificiales, montaña mediterránea.

Fernández Cancio, A., Navarro Cerrillo, R.M., Sánchez Salguero, R., Fernández Fernández, R., Manrique Menéndez, E. (2011). Phytoclimatic suitability of Scots pine plantations (*Pinus sylvestris* L.) at Sierra de los Filabres (Almería). *Ecosistemas* 20 (1):124-144.

The current climate variability is characterized by causing abrupt changes in phytoclimatic patterns, which is triggering mortality processes in forest species. The aim of this work was to analyze the phytoclimatic suitability of artificial stands of *Pinus sylvestris* L. in the Sierra de los Filabres (Almería), for which 35 phytoclimate variables most determining the climatic stability of the species were taken to be analyzed. The study of the interannual values of the climate variables indicated that between 1970 and 1980 an extensive climatic perturbation began, modifying the seasonality of rainfall and temperatures. The most significant features were the increase in temperatures, especially the maximum ones, the increase in thermal oscillation and in daily extremes, the overall decrease in the rainfall, the serious increase in spring aridity and the deterioration of the ombic variables. A study of the stands with repopulated forest cover of Scots pines in eastern Andalusia indicates that the stands are outside the cloud of points of the Scots pine stands established in Spain. The Scots pine forests in the Sierra de Filabres are notably outside in all their phytoclimatic characteristics and may progressively or abruptly disappear especially if a climate change sets in.

Key words: climatic change, forest decline, Mediterranean mountain, plantations.

Introducción

El pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) es una de las especies arbóreas con área de distribución mundial más amplia, tanto de forma natural como por repoblación, ocupando gran parte de Asia y Europa, desde Escocia hasta las proximidades del mar de Okhost y desde Noruega (70° 19' de latitud norte) hasta el paralelo 37° en Sierra Nevada (España). Su distribución dentro de la geografía española se encuentra en el borde sudoccidental de su hábitat general, donde destacan tres zonas principales (Pirineos, Sistema Ibérico y Sistema Central), otra de transición (Levante) y dos claramente marginales (Cordillera Cantábrica y Cordillera Penibética). La autoecología paramétrica de esta especie ha sido estudiada ampliamente por Nicolás y Gandullo (1969), y sintetizada por Gandullo y Sánchez Palomares (1994), definiendo el hábitat español de la especie.

Las escasas masas de pino albar (*P. sylvestris* L. var. *nevadensis* Christ) de procedencia natural en Andalucía aparecen como bosques relictos en las montañas béticas (Nicolás y Gandullo, 1969; Ruiz de la Torre, 2006), localizadas en umbrías con suelos frescos y relativamente húmedos de S^a Nevada y S^a de Baza (Cerros del Tesoro, Dornajo, Trevenque, Alayos de Dilar, Calares de Santa Bárbara, Rapa y Prados del Rey), donde entran en contacto y se mezclan con masas de pino salgareño (*Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmanii* (Dunal) Franco). El resto de las masas de esta especie en Andalucía, unas 45.000 ha, tienen como origen la repoblación. La totalidad de estas repoblaciones se han realizado en el complejo de Sierras Penibéticas: Sierra Nevada (27.300 ha), S^a de Baza (10.500 ha) y S^a de los Filabres (8000 ha).

El término *decaimiento forestal* es 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 (Innes, 1993; Desprez-Loustan et al., 2006; McDowell et al., 2008; Allen et al., 2010). Los procesos de decaimiento han sido estudiados con bastante profundidad en los últimos años, proponiéndose numerosas hipótesis para su explicación: las malas prácticas selvícolas, la toxicidad por aluminio en suelo ácidos, el drenaje de nutrientes minerales por la acción de la lluvia ácida, la polución debida a ozono/fotoquímica, la contaminación por dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, el cambio climático, y los desequilibrios nutricionales como consecuencia de excesos o déficit de nitrógeno en el suelo (Camarero et al., 2004). En los años 90 se generalizó la hipótesis de multi-estrés (Manion, 1991; Innes, 1993), que enfatiza la interacción entre factores abióticos y bióticos (por ejemplo, clima, insectos, hongos) y diferentes formas de estrés antrópico, por ejemplo polución o prácticas selvícolas inadecuadas (Klap et al., 2000; Bonan, 2008). La mala elección de especie o el uso de unas procedencias genéticas inadecuadas a las condiciones ecológicas de establecimiento, puede suponer un factor que condiciona la respuesta de la especie en el futuro, también hay que considerar la baja biodiversidad de este tipo de bosques que los hace susceptibles a un amplio rango de estreses. Es difícil determinar la contribución relativa de cada uno de estos factores, ya que están implicados en las interacciones entre la litosfera, la biosfera y la atmósfera de los ecosistemas forestales. Esto es especialmente evidente en masas artificiales, donde la naturaleza del ecosistema y su origen dificultan la definición de causas exclusivas que puedan explicar los procesos de decaimiento.

En España se han registrado casos de decaimiento de pinares de *Pinus sylvestris* L. en Teruel (Millán y Sanz, 1993) y Cataluña (Sabaté et al., 2002; Martínez-Villalta et al., 2002; Andreu et al., 2007; Martínez-Villalta et al., 2008; Galiano et al., 2010). El problema de decaimiento de pinares de pino silvestre en la S^a de los Filabres se ha observado desde el año 2002. Los daños han experimentado un progresivo aumento hasta cubrir una gran superficie de repoblaciones de pino silvestre y pino salgareño, llegando a afectar a más del 50% de los pies en algunas zonas (Navarro-Cerrillo et al., 2007, 2010).

Entre las causas más frecuentemente mencionadas para explicar estas situaciones se encuentra el cambio climático (Peñuelas et al., 2001; Camarero et al., 2004; Rebetz y Dobbertin, 2004). Las estimaciones del impacto local del Cambio de Clima sobre España están bien calibradas y validadas a nivel local (Brunet et al., 2009). Esta circunstancia posiblemente originará una ruptura del esquema de vegetación estática en España dando lugar a un proceso dinámico que, en las proximidades de sus factores limitantes, se muestra altamente inestable y que quizá comenzó hace ya tiempo, y no ha sido detectado a gran escala hasta las últimas décadas del siglo XX. Así, el aumento de la variabilidad climática general puede provocar cambios bruscos interanuales, que desencadenen procesos de mortalidad de especies debido a un cambio en la frecuencia de los cursos fitoclimáticos que determina la imposibilidad de una adaptación rápida (Manrique Ménéndez y Fernández Cancio, 2000). El análisis del impacto del cambio climático en este tipo de formaciones requiere una adecuada caracterización fitoclimática de las principales especies (Fernández-Cancio et al., 2006).

En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar la adecuación fitoclimática de las masas artificiales de *Pinus sylvestris* L. en la Sierra de los Filabres (Almería), a través del análisis de las variables fitoclimáticas que determinan la estabilidad climática de la especie.

Materiales y métodos

Área de estudio

La Sierra de los Filabres es un macizo montañoso perteneciente a las cadenas béticas andaluzas, y está situada en el centro de la provincia de Almería, orientado de oeste a este, ocupando una extensión de 1318 km² (Fig. 1), y que limita al este con la S^a de Baza. La Sierra de los Filabres es una interesante encrucijada biogeográfica donde existen grandes contrastes ambientales, produciéndose muchos gradientes ecológicos, que por sus especiales características dificultan su descripción ambiental (Peñas et al., 1995). La topografía presenta fuertes desniveles, suavizada en las altas cumbres intercaladas, sobre todo en la vertiente norte, por lomas de relieve mas atenuado. Desde el punto de vista geológico puede hablarse de dos Sierras de los Filabres. La parte sur y central de la Sierra se caracteriza por un potente zócalo formado por litologías silíceas (micaesquistos, filitas, cuarcitas); y la parte norte, donde se superpone una secuencia de rocas carbonatadas triásicas sedimentarias en las que dominan las litologías calizas y dolomíticas.

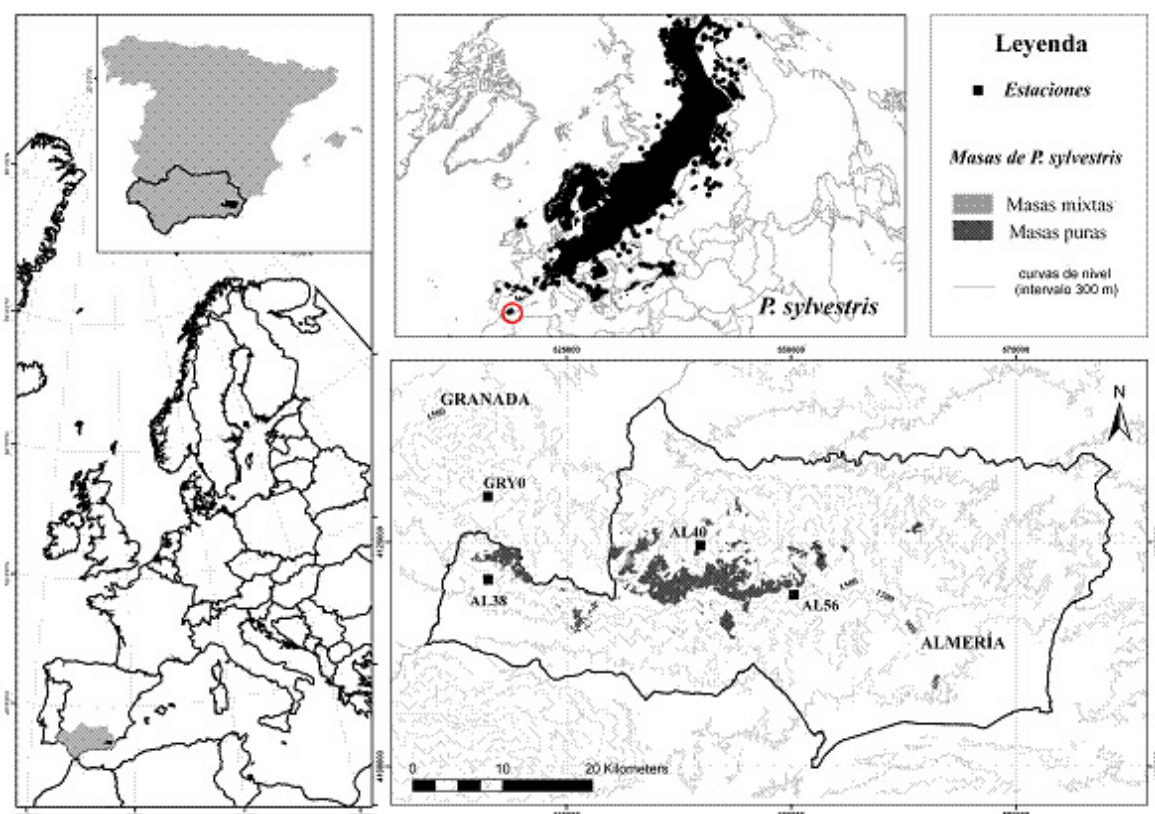


Figura 1. Localización de la Sierra de los Filabres (Almería, España) y distribución de las masas de pino silvestre y las estaciones meteorológicas analizadas en este estudio.

El bioclima de la Sierra está condicionado por el fuerte gradiente altitudinal (entre 300 y 2168 m.) y la gran variación longitudinal oeste-este. Los bioclimas que podemos encontrar son dos, el mediterráneo xerico-oceánico y el mediterráneo pluviestacional-oceánico, con cuatro termotipos, el termomediterráneo (<900 m), mesomediterráneo (900-1300 m), supramediterráneo (1300-1850 m) y, de forma topográfica, oromediterráneo (>1850 m). En las zonas intermedias y altas de la montaña dominarían los encinares béticos silícícolas o calcícolas, con presencia de ejemplares de pino salgareño (*Pinus nigra* Arn. subs. *salzmanni* (Dunal) Franco) en los escarpes calizos de mayor altitud establecidos allí por datación dendrocronológica al menos desde el año 1602 (Creus y Saz, 2005). En zonas cacuminales podrían aparecer formaciones aciculares de coníferas y piornos.

La vegetación actual presenta un marcado gradiente altitudinal, y está fuertemente influenciada por las repoblaciones forestales realizadas entre los años sesenta y ochenta (1955-1983). Las especies más utilizadas fueron pinos (*Pinus halepensis*, *P. pinaster* Aiton, *P. nigra*, y *P. sylvestris*), dando lugar a formaciones arbóreas de gran homogeneidad, pero de notable interés selvícola y restaurador (Sanz Harráiz et al., 2001).

Selección de datos meteorológicos

Un estudio previo de las estaciones meteorológicas disponibles para la S^a de los Filabres (Fernández-Cancio et al., 2006), puso de manifiesto que las estaciones reales en la sierra no son representativas altitudinalmente, a excepción de Calar Alto (2131 m. de altitud) que apenas posee datos relevantes. Dada esta circunstancia se optó por utilizar para el estudio fitoclimático los puntos de la Red Andaluza de Equilibrios Biológicos (Navarro Cerrillo, 2004, Fernández Cancio et al., 2006), sobre estaciones simuladas. La simulación de las estaciones se ha realizado con el Sistema Informático GENPT (Fernández Cancio y Manrique Menéndez, 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 en esa zona). Las estaciones seleccionadas fueron: AL38, zona sur y de altitud media (1633 m.) e influencia atlántica, AL40 con orientación norte, baja altitud (1446 m.) e influencia mediterránea, GRY0 con una posición occidental, a altitud elevada (1906 m.) y estando influenciado por los regímenes atlántico y mediterráneo, y AL56 el más oriental, con influencia mediterránea, y que está a una altitud de 1811 m (**Fig. 1**). De esta forma se analizó un gradiente altitudinal asociado a diferentes condiciones de orientación y regímenes estacionales.

Estudio fitoclimático

A partir de los datos climáticos de las estaciones, se calcularon los factores fitoclimáticos de Allué-Andrade (1990, 1997) mediante la aplicación informática «*WClimoal*» (Manrique Menéndez, 1993). El sistema fitoclimático de Allué (Allué-Andrade, 1990) se complementó con la generación de 35 parámetros climáticos empleados en estudios fitoclimáticos previos (**Tabla 1**) (Fernández Cancio et al., 2006, 2007; Rivas Martínez, 2007), seleccionados por su capacidad discriminante en el análisis de adecuación fitoclimática de la vegetación, con especial atención hacia aquellos que resaltan las características de Andalucía oriental y de la alta montaña mediterránea.

Variable	Denominación	Definición
A	aridez de Gausseen	
K	intensidad de la aridez	
P	precipitación total	
PE	precipitación estival mínima	
HS	heladas seguras	
TMF	temperatura del mes más frío	
T	temperatura media	
TMC	temp. media del mes más cálido	
TMMF	temp. media de las mínimas del mes de media más fría	
F	mínimas absolutas	
OSC	oscilación térmica diaria	
TMMC	temp. media de las máximas del mes de media más cálida	
C	Temperaturas máximas absolutas	
HP	heladas probables	
M	temp. media de las máximas del mes de media más fría	
IT	índice de termicidad	$(TMMF+M+T)*10$
IO	índice ómbrico	$(P/T)/10$
IC	índice de continentalidad	$TMC-TMF$
NPRI	precipitación del trimestre invernal normalizada a 250 mm	
NPRP	prec. del trimestre primaveral normalizada a 250 mm	
NPRV	prec. Del trimestre de verano normalizada a 250 mm	
NPRO	precip. del trimestre otoñal normalizada a 250 mm	
IOI	índice ómbrico de invierno	$NPRI/TMI$
IOP	índice ómbrico de primavera	$NPRP/TMP$
IOV	índice ómbrico de verano	$NPRV/TMV$
IOO	índice ómbrico de otoño	$NPRO/TMO$
DONDE TMI, TMP, TMV Y TMO SON LAS MEDIAS TRIMESTRALES DE TEMPERATURA		
IFOR	índice de forma	
ALTITUD/IO	altitud matizada por el índice ómbrico	
IFOR1:	precipitación del primer semestre empezando en diciembre dividida por la precipitación del segundo semestre empezando en junio)	
IOFRI	Es un índice ómbrico extremo de la intensidad del frío invernal	$TMMF/NPRI: IOFRI IOFRI$
IOEST	es un índice ómbrico extremo de la intensidad del estrés estival	$(PE/TMMC)*10.$
AIT, AIC	son limitaciones de la Aridez de Gauseen a través del Índice de Continentalidad y el de Termicidad.	$AIT=AAT$ $AIC=AAC$
KIO, KIC	Son limitaciones de la intensidad de la aridez a través del Índice ómbrico y de continentalidad.	$KIO=KAO$ $KIC=KAC$

Tabla 1. Variables utilizadas en el estudio de viabilidad fitoclimática del pino silvestre en la Sierra de los Filabres. La elección de las variables se ha hecho de acuerdo a Fernández Cancio et al. (2006).

Resultados

Análisis de los compendios

En la **Figura 2** se incluyen los compendios de las estaciones seleccionadas en la zona de estudio. Tomando como referencia el compendio del punto de la Red de Equilibrios Biológicos AL38 para el periodo comprendido entre 1912 y 2002 se ve que la precipitación media estimada en casi un siglo fue de 387 mm. Sin embargo, la precipitación entre 1970 y 2002, que corresponde al desarrollo de la repoblación, fue de 379 mm. El mínimo absoluto de precipitación para esta estación se produjo en 1988 con 319 mm., correspondiente a la media móvil de los quince años anteriores. La recuperación pluviométrica desde 1988 es también engañosa, ya que aunque se alcanzasen los 420 mm como máximo de nuevo, como en períodos anteriores, el balance [precipitación – temperatura] es cada vez más desfavorable sobre todo en lo que afecta a las temperaturas invernales. El incremento medio de temperatura en toda la zona desde 1930 es de 0,5-0,7°C. La subida de temperatura se refleja en el intervalo 1990-2002, donde el punto GY10 pasa de un fitoclima mediterráneo arbóreo transicional hacia la estepa fría próximo al subtipo IV(VII) en su límite de aridez (ya que posee escasamente 3.03 meses de aridez de Gausseen) hacia un fitoclima nemoromediterráneo arbóreo transicional subesclerófilo del subtipo VI(IV)₁, cuando la precipitación estacional hace que la aridez caiga por debajo de tres meses, efecto que se puede producir sobre 1900 m. de altitud (**Fig. 3**), o, por elevación de temperatura sin compensación hídrica, derivando hacia un IV(VI)₁ fitoclima mediterráneo meseteño de tendencias

subesclerófilas. En este caso parece que se está oscilando entre una fisiognomía subesteparia mediterránea de zonas de alta montaña no culminales, IV(VII), una subnemoral con tendencias marcescentes secas perteneciente al subtipo VI(IV)₁ o una mediterránea meseteña del subtipo IV(VI)₁, que permitirían una expansión altitudinal del cortejo de encinares y quejigales incompatible con los pinares de pino silvestre.

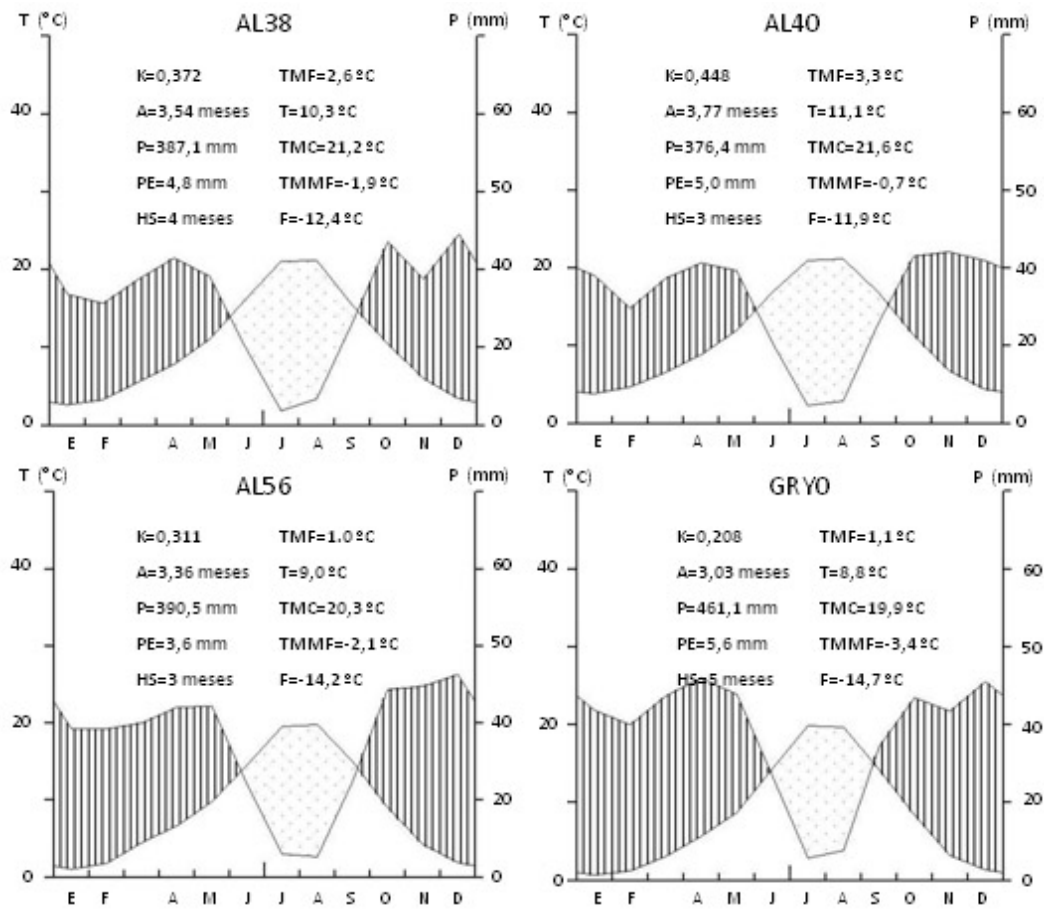


Figura 2. Compendio para las estaciones meteorológicas reconstruidas AL38, AL40, AL56 y GRYO para el periodo 1912-2002. La localización de las estaciones puede verse en la **figura 1**.

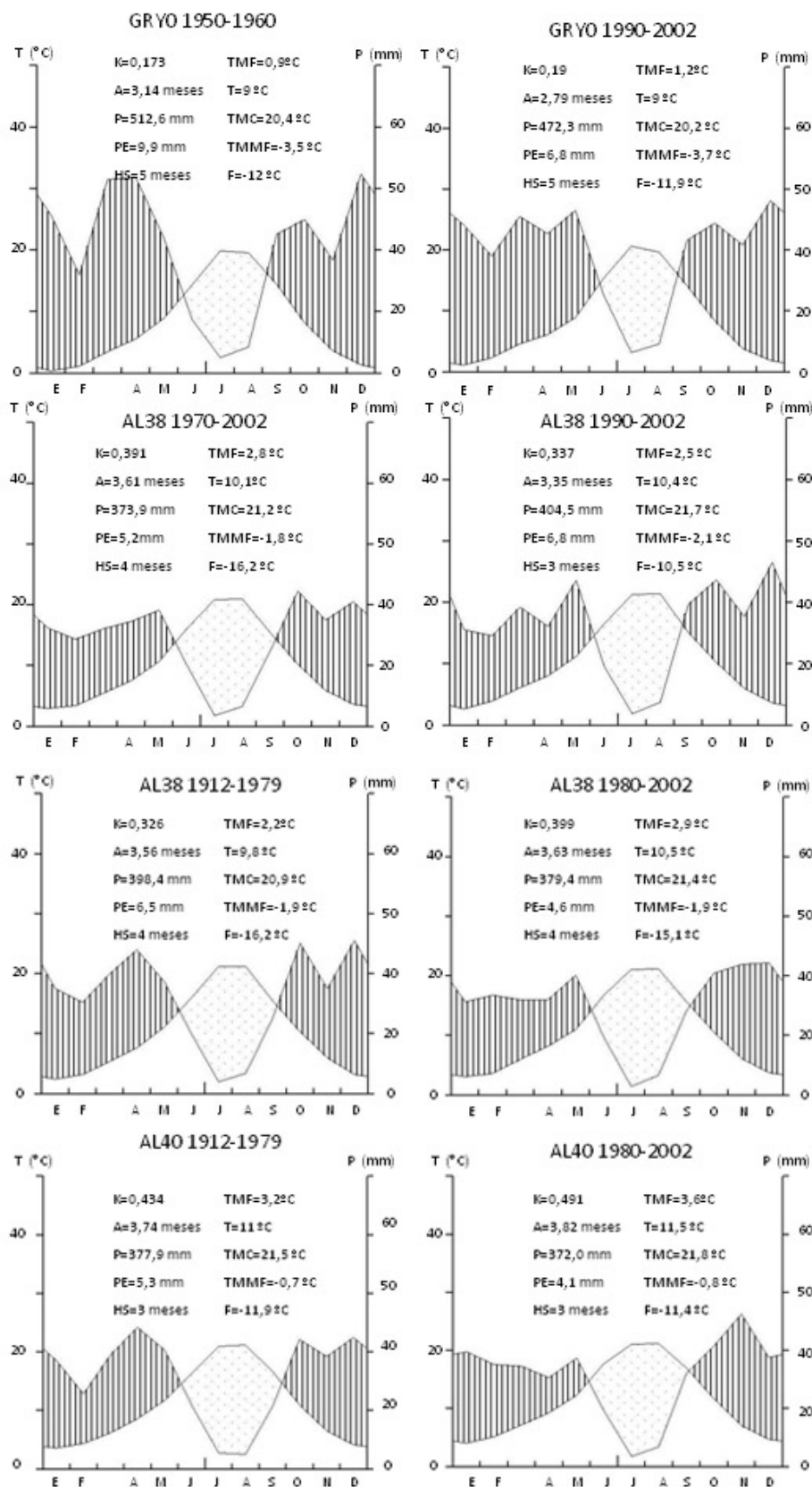


Figura 3. Compendio de la estación meteorológica reconstruida GRYO para el periodo 1950-1960 y para el periodo 1990-2002, y de la estación meteorológica reconstruida AL38 para el periodo 1970-2002 y para el periodo 1990-2002. La localización de las estaciones puede verse en la figura 1.

Análisis del comportamiento de los cursos interanuales

El análisis de las series temporales de precipitaciones en el punto AL38, muestra una tendencia a una cierta mejoría de éstas en la Sierra de los Filabres, que tuvo su peor momento pluviométrico entre 1960 y 1988 (**Fig. 4**), con un mínimo de entre 1962 y 1989, confundiéndose así los valores que se registran en la actualidad y que vuelven a parecerse a los que existían a principios de siglo. La precipitación estival, PE, parece; sin embargo, comportarse de forma muy diferente entre 1953 y 1988.

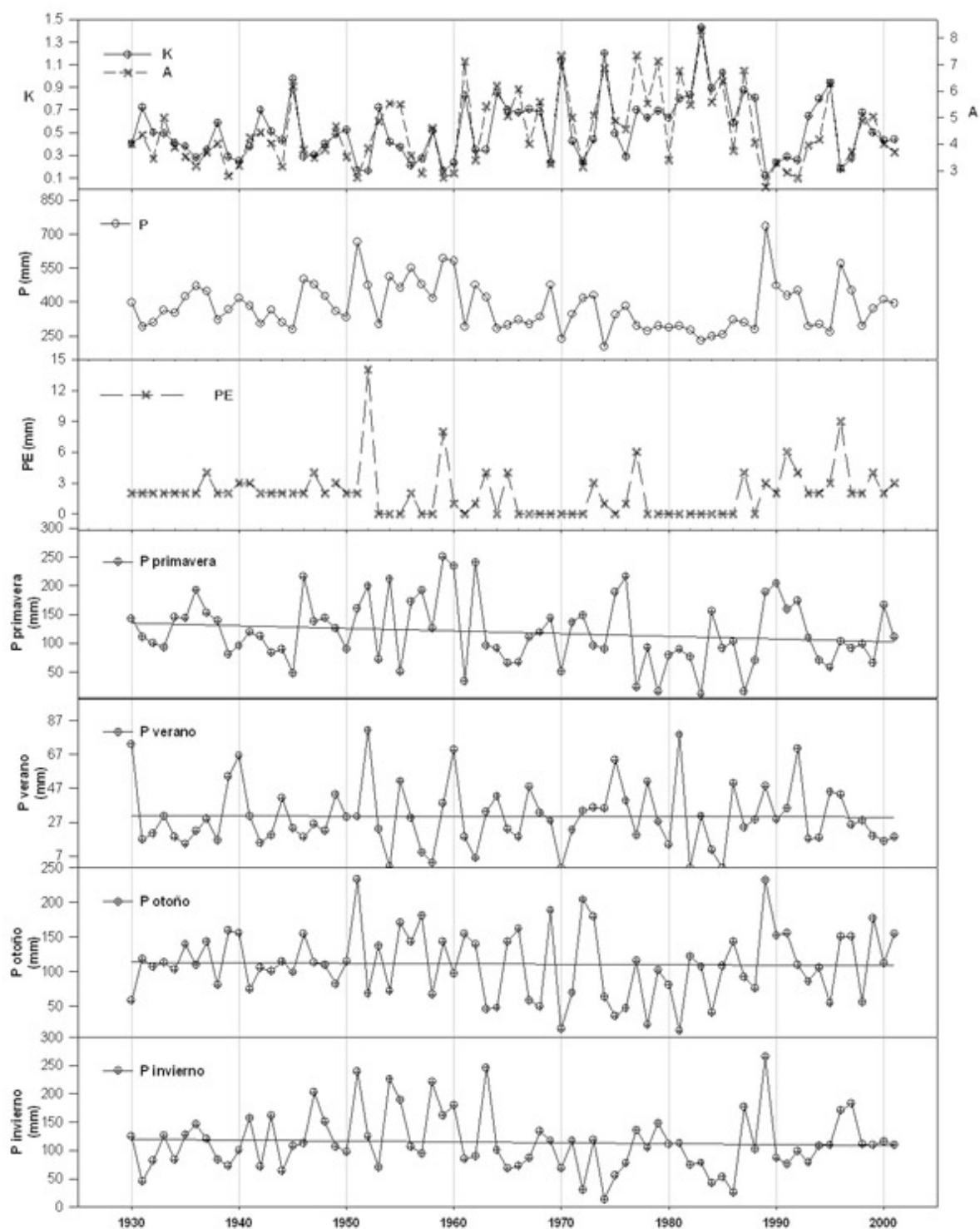


Figura 4. Evolución de los índices de aridez (K y A), de la precipitación total y estacional en la estación meteorológica reconstruida AL38 para el periodo 1930-2002. Descripción de las variables fitoclimáticas utilizadas en **Tabla 1**.

Una de las claves de la situación de estrés actual puede observarse en el aumento sostenido de la temperatura media de las máximas del mes de media más fría (M) en el punto AL38 (**Fig. 5**) y a la vez en el episodio frío entre 1971 y 1980, en la que la mayor parte de las estaciones perdieron casi 1°C de temperatura media. El aumento posterior de la temperatura media hasta el 2001 es una anomalía climática, ya que si consideramos los periodos 1930-1979 y 1981-2001 y el porcentaje 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 sí podemos hablar de un calentamiento claro desde 1980 en una banda aproximada de 1°C. Anomalías semejantes pueden verse en la caída de las temperaturas medias de las mínimas del mes de media más fría y la recuperación en la última década, que indican un proceso de alteración progresiva del punto AL38 desde 1970, con un aumento muy fuerte del estrés primaveral en pleno período vegetativo, así como el aumento de temperaturas de invierno y primavera, que altera el régimen de permanencia de la nieve en el suelo.

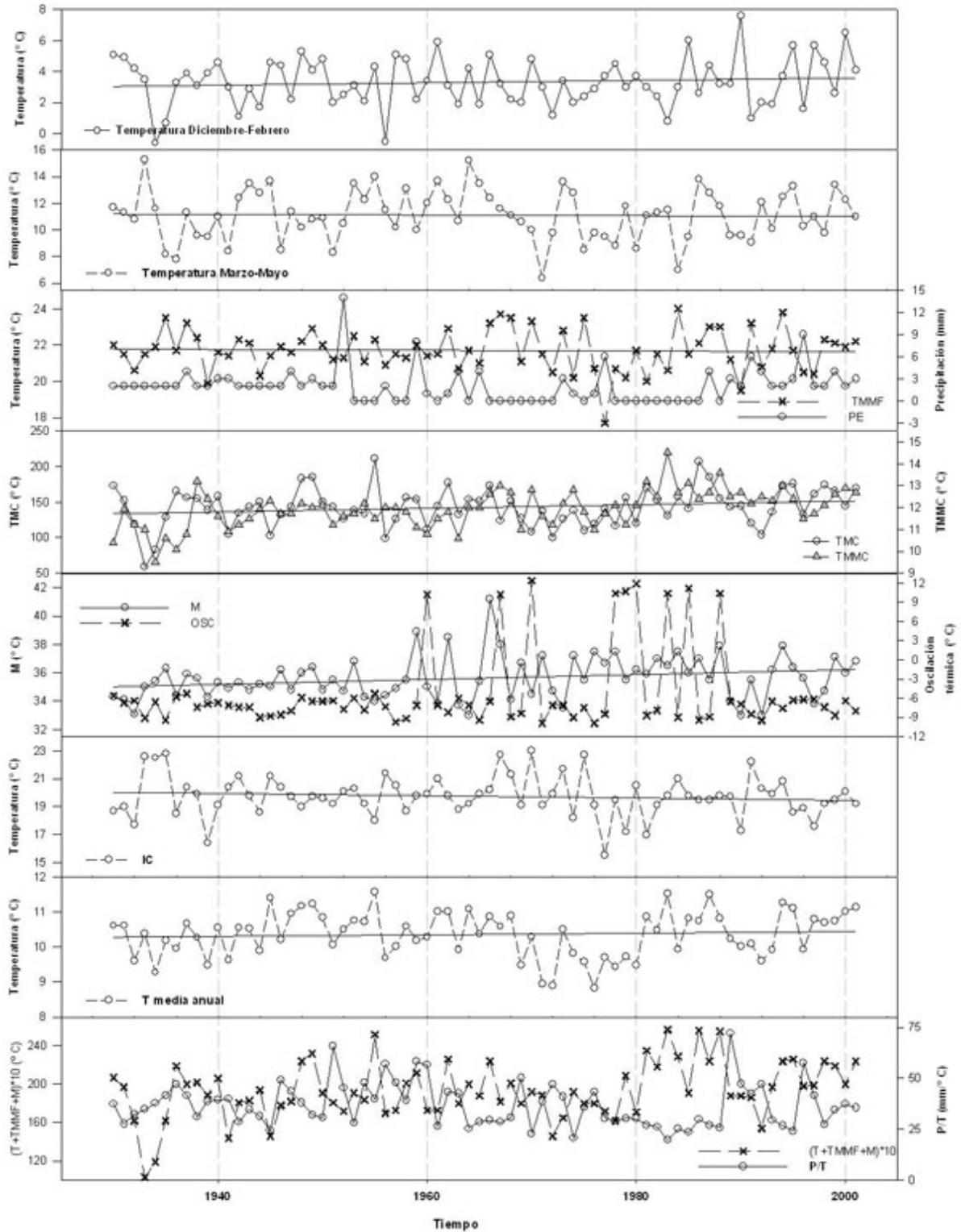


Figura 5. Evolución de la temperatura media, la temperatura media estacional, de la TMC, TMMC, M, OSC, IC y P/T en el punto AL38. Descripción de las variables fitoclimáticas utilizadas en **Tabla 1**.

La modificación más importante no se da entre los índices de continentalidad ($IC = TMC - TMMF$), ni con el Índice de termicidad (IT), que mantienen variaciones dentro de su termostipo, ni tampoco en la variación del índice Ómbrico (IO = P/T), que experimenta sólo un pequeño aumento. El aumento de IT y de IO desde 1988 es muy elevado y, al menos IO debía dar pendiente positiva; esto parecería una mejoría si no fuese porque el IT (que refleja preferentemente el efecto del frío, al considerar en su fórmula de cálculo $(TMMF+M+T)*10$ dos variables de intensidad de frío, M y TMMF, junto con la temperatura media T, **Tabla 1**) aumenta fuertemente desde 1980, disminuyendo la innivación y aumentando el estrés hídrico invernal-primaveral (**Fig. 5**). Los cambios en la precipitación estacional son más marcados a causa de la caída de las precipitaciones

de primavera, y un aumento de las precipitaciones de otoño entre 1980 y 2005, que se refleja en la recuperación relativa en la actualidad, donde vuelve a percibirse un aumento matizado del índice ómbrico otoñal en los últimos años combinado con una disminución del índice ómbrico invernal. Esta modificación de los regímenes ómbricos estacionales no quedan reflejadas en los compendios y son indicadores de una profunda alteración fitoclimática por desplazamiento de la actividad ciclónica del atlántico al mediterráneo, acentuada por la falta de simetría orográfica y por la disposición geográfica del levante español con respecto a las zonas occidentales.

El segundo compendio analizado correspondía al punto de la REB de Almería AL56, situado en el extremo oriental de la Sierra de los Filabres y muy afectado en sus masas de pino silvestre asociadas. Este punto está a notable altitud (1811 m.) y en él se ha observado la transición interanual del oromediterráneo (que estaría más aproximado a la existencia de pino silvestre) al supramediterráneo superior ($IT \geq 80$).

La alteración en el punto oriental AL56 se comporta de una manera algo diferente al AL38, y en este caso parece que la alteración más importante es de carácter térmico, porque la precipitación no cambia y la distribución de la misma hace que los indicadores de aridez incluso disminuyan (K y A) (**Fig. 6**). Esto puede ser normal dentro del carácter de un aumento o mantenimiento de la precipitación oriental y de la subida de temperatura general y señala la posible presencia de distintos tipos de alteraciones en esta zona. Las modificaciones estacionales más acusadas del punto AL56 se relacionan con la caída de las precipitaciones de primavera, con un ligero remonte en la última década, y un claro aumento de las temperaturas de primavera desde 1970, lo que acentúa el aumento del estrés hídrico primaveral. Los fenómenos de estacionalidad son, aquí, muy acusados y el punto, pese a la disminución global de la aridez, es de los más perturbados.

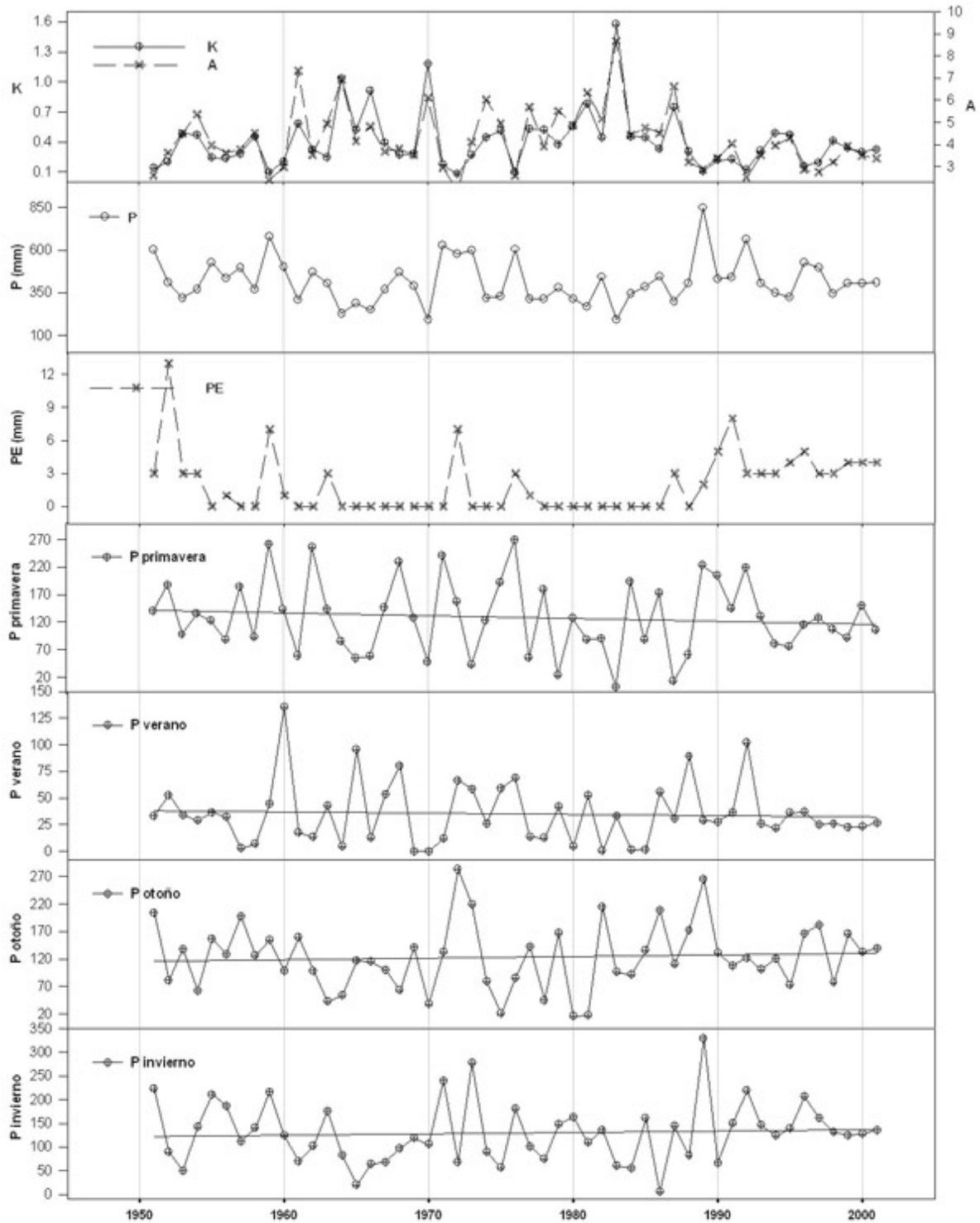


Figura 6. Evolución de los índices de aridez (K y A), de la precipitación total y estacional en la estación meteorológica reconstruida AL56 para el periodo 1950-2002. Descripción de las variables fitoclimáticas utilizadas en **Tabla 1**.

Se registra una subida general de la temperatura en los cuatro trimestres con un claro remonte sobre la caída de la década de los sesenta del siglo pasado (**Fig. 7**). La coincidencia con la estabilización de la precipitación invernal y la caída de la precipitación primaveral inciden en un aumento del estrés hídrico primaveral que convierte a las primaveras, época de máxima actividad vegetativa, en períodos muy secos (índice medio de IO (índice ómbrico) primaveral pasando anualmente de 5 a 2 aproximadamente); es decir, de seco a semiárido. Se registra también un significativo aumento de la oscilación diaria (OSC) casi sincrónico con la media de las máximas del mes de media más fría (M) que contrasta con el mantenimiento de la media

de las mínimas del mes de media más fría (TMMF). Todo esto hace que la oscilación térmica, como medida del estrés diario, aumente en invierno de forma muy notable sin que se sepa bien como incide esto en la distribución de la vegetación. Los resultados parecen indicar que el número de días despejados aumenta y las lluvias se concentran de forma más intensa lo que, junto al aumento de la precipitación estival, parece de nuevo indicar un incremento de los regímenes convectivos orientales. Sin embargo, el aumento de M en media puede superar los 3°C (**Fig. 7**) que es una perturbación de gran escala dentro de un Cambio Climático, ya que las proyecciones del Proyecto ENSEMBLES (aemet, http://www.aemet.es/es/elclima/cambio_climat/proyecciones, 2011), señalan para el horizonte del 2025-2050 un aumento medio de 2º-3ºC en Andalucía y parece que, transitoriamente al menos, en algunos puntos y en determinadas variables ya se ha superado en 1ºC a la proyección con al menos quince años de antelación. Esta fenomenología particular suele escaparse en los escenarios de cambio climático locales por su dificultad de predicción.

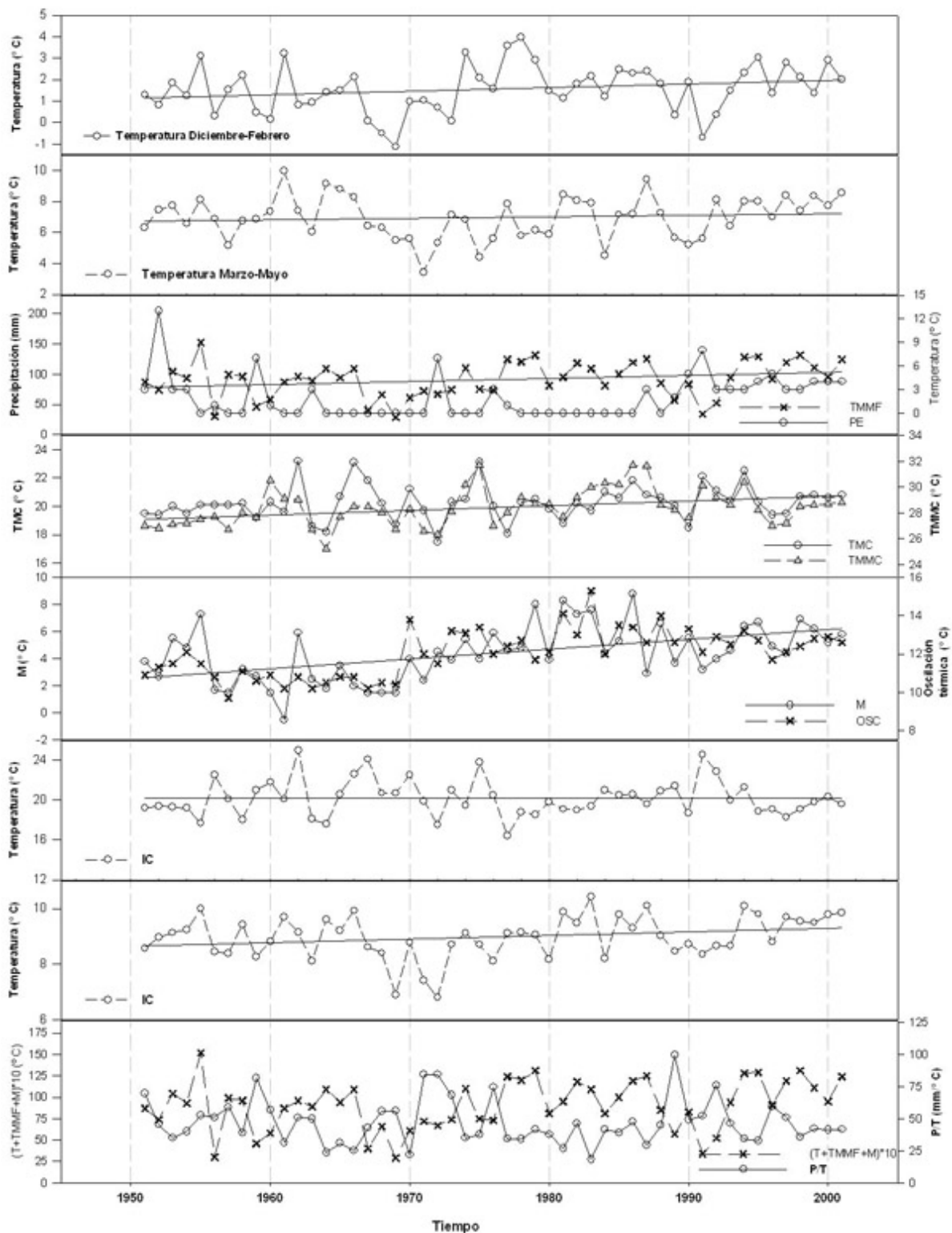


Figura 7. Evolución de la temperatura media, la temperatura media estacional, de la TMC, TMMC, M, OSC, It y P/T en el punto AL56. Descripción de las variables fitoclimáticas utilizadas en **Tabla 1**.

Se observa, por tanto, que el punto AL56, que está en el extremo oriental de la Sierra de los Filabres con una precipitación de 406 mm, y una aridez de 3,25 meses durante el período 1980-1999, señala que su mayor perturbación radica en el aumento del índice de termicidad con mantenimiento e incluso disminución de los valores asociados a la aridez. También hay una seria perturbación estacional de primavera y un incremento del estrés térmico asociado a la oscilación diaria. La altitud del punto no es obstáculo para que se registre una salida de rango de existencia ómbrico para el pino silvestre en la precipitación. El subtipo fitoclimático del punto se mantiene actualmente en VI(IV)₁ dada la termicidad de este extremo del territorio analizado.

En todo este estudio lo que parece mantenerse es el incremento térmico sostenido y un comportamiento negativo del patrón estacional de las precipitaciones, siendo esto último más impredecible en el futuro.

Posicionamiento de las estaciones de la Sierra de los Filabres con respecto a las masas de pino silvestre en España

El análisis de la posición de las estaciones estudiadas, con respecto al conjunto de las representativas de la distribución de pino silvestre en España, mostró que éstas se encuentran muy fuera de rango para un amplio conjunto de variables de significado peninsular, pero con fuerte incidencia en el sudeste Andalúz como se ve en la **Figura 8**. Las variables más importantes que determinan la inadecuación climática de la especie son de naturaleza fundamentalmente ómbrica más que térmica y corresponden esencialmente a las variables anuales A, K, P, IFOR1, IOEST, IOFRI, AIC, AIO, KIC, KIO, ALTIO y a las estacionales NPRI, NPRP, NPRV, NPRO, IOI, IOP, IOV, IOO (**Tabla 1**). Como ejemplo se estudia la estación de referencia AL40 comparándola con el conjunto de las estaciones de España. En ambos casos se han considerado percentiles al 95% y 5% para separar los valores fuera de rango. En la **Tabla 2** y para la estación AL40 el 90% de los años la estación de referencia de Filabres está fuera de los límites de la especie en el conjunto peninsular en los parámetros A, K, P, PE, F, NPRI, NPRP, NPRV y NPRO, IOV(en el límite), ALTIO; AIC (casi en el límite), IOEST, IOFRI. Se observa que las temperaturas y sus manifestaciones derivadas son menos susceptibles a salirse del rango global y es precisamente en estas variables donde se están produciendo variaciones que alejan todavía más al pino silvestre sudoriental de su rango de existencia peninsular.

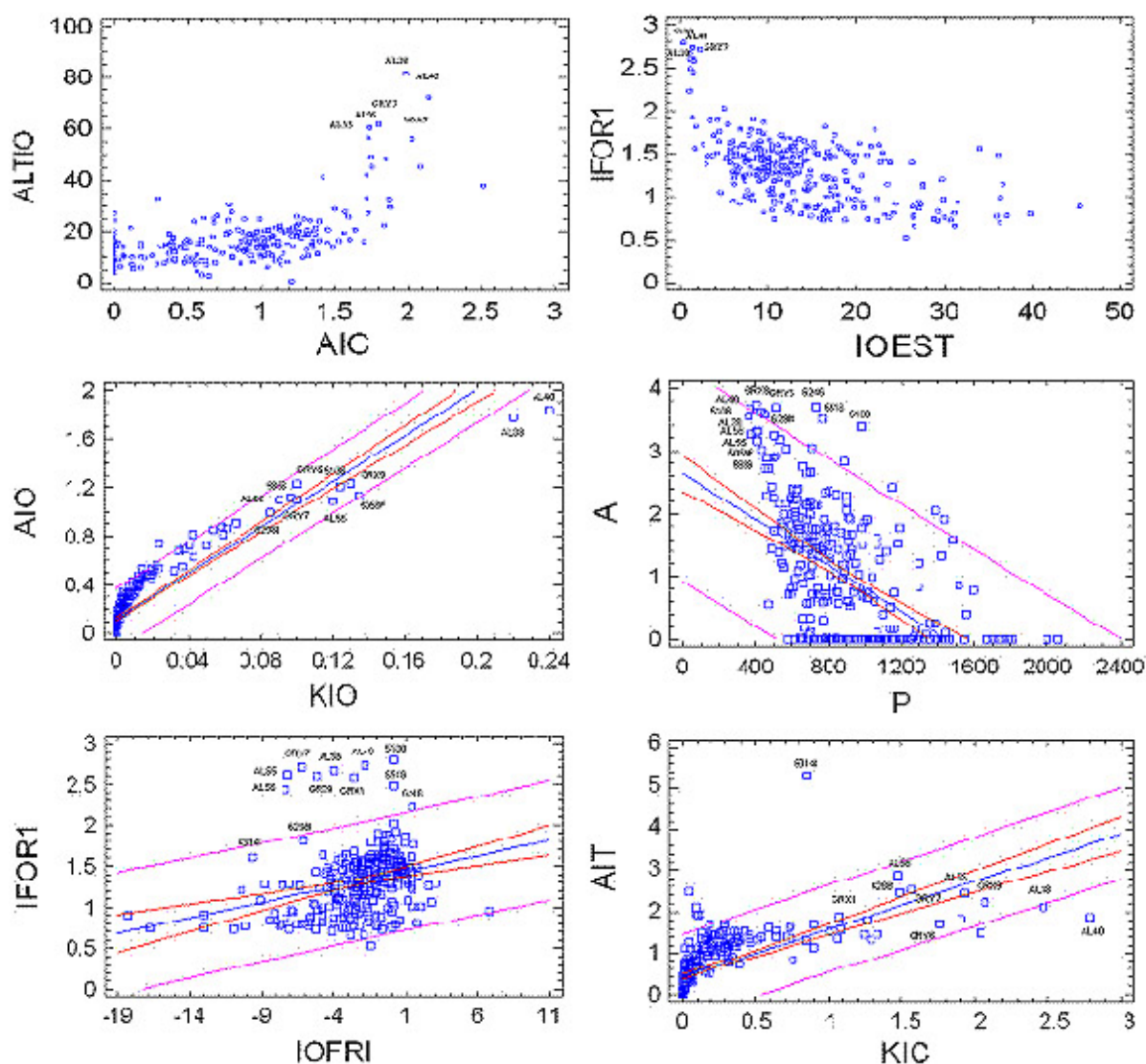


Figura 8. Posición de las estaciones reales y simuladas estudiadas con respecto al conjunto de las estaciones representativas de la distribución de pino silvestre en España para distintas variables seleccionadas señalando la forma en que se acentúan los efectos diferenciales de Andalucía oriental y la alta montaña mediterránea con respecto al resto de España. Descripción de las variables fitoclimáticas utilizadas en **Tabla 1**.

Las estaciones correspondientes a pino silvestre en Andalucía muestran, por tanto, una notable diferencia con las estaciones correspondientes a masas naturales de otros enclaves en España, siendo cada año más acentuados los valores fuera de rango en estas condiciones debidas al incremento térmico. En la **Fig. 8** se observan los valores fuera de rango del pino silvestre para la combinación de una alta atlanticidad de la zona de Filabres que viene medida por valores muy altos de IFOR1, y con valores muy bajos del indicador de estrés térmico extremo estival, IOEST = (PE/TMMC)*10.. La corología del pino silvestre en España muestra preferencia general -con excepción quizá de puntos del Sistema Central- por los hábitats orientales más que por los atlánticos, por eso estas estaciones muy sensibles a los regímenes atlánticos se salen de rango (**Tabla 2**). Esta situación se complica con un fuerte estrés hídrico estival (bajo índice ómbrico estival), ya que el pino silvestre requiere precipitación estival. Ambos factores hacen que las estaciones de Filabres se salgan de rango asintóticamente, bien por la izquierda como sucede en la **Figura 8** considerando IFOR1 con respecto a IOEST, o bien por la derecha de forma mucho más concluyente en la representación de ALTIO con respecto a AIC; donde interviene la altitud, índice ómbrico, aridez de Gaussen y continentalidad. En esta figura se puede observar como un conjunto seleccionado de parámetros determinan una fitoclimatología significativa de adecuación-exclusión de forma que las estaciones Andaluzas de pino silvestre en Filabres se salen multiparamétricamente del rango del pino silvestre en el ámbito peninsular, resultando muy difícil que se consiga mantener la especie por encontrarse claramente fuera de estación.

Variable	Sierra de los Filabres, punto AL 40 máximo y mínimo	Máximo	Mínimo
A	7,7-3,0	2,7	0,00
K	1,2-0,2	0,090	0,00
P	516,0-234,0	1483,0	522
PE	7,0-0,0	73,0	14
HS	4,0-0,0	6,0	0,00
TMF	4,1-0,6	5,6	0,2
T	12,1-10,1	12,9	6,3
TMC	23,7-20,2	22,6	16,3
TMMF	0,3-4,6	1,6	-4,9
F	-2,3-10,9	-10,7	-21,6
OSC	13,3-10,9	14,2	9,6
TMMC	31,2-27,6	30,5	23,4
C	40,5-32,5	43,5	35,2
HP	6,0-0,0	9,0	4
M	9,8-4,0	9,9	4,6
IT	211,0-121,0	234,0	77
IO	4,8-2,1	13,2	3,8
IC	21,4-17,3	19,2	13,4
NPRI	0,26-0,05	2,07	0,40
NPRP	0,28-0,03	1,54	0,57
NPRV	0,09-0,01	1,10	0,28
NPRO	0,22-0,04	1,62	0,54
IOI	2,86-0,18	8,35	0,69
IOP	0,96-0,08	1,66	0,47
IOV	0,12-0,01	0,52	0,12
IOO	0,67-0,09	1,51	0,39
IFOR	2,83-0,40	1,33	0,86
ALTIO	69,38-30,11	25,34	31,52
KIC	0,65-0,11	0,55	0,0052
KIO	0,061-0,005	0,02	0,0002
AIC	3,98-1,51	1,53	0,01
AIO	3,45-0,60	5,19	0,06
IFOR1	5,85-0,72	1,74	0,76
IOEST	2,55-0,00	28,44	4,55
IOFRI	45,26-2,26	1,36	7,00

Tabla 2. Límites de existencia fitoclimática para el conjunto de las masas naturales de pino silvestre natural en España al 5% y 95% de percentil y valores para una estación de referencia reconstruida en la Sierra de los Filabres (AL40). Ver descripción de las variables utilizadas en la **Tabla 1**.

Se podría ver que el efecto de separación de las variables ómbricas (ALTIO, AIC, etc.) es mucho más fuerte que el de las variables térmicas (TMMF, TMMC, o de cualquier otra relacionada con la termicidad).

Al incorporar en el estudio fitoclimático las estaciones reconstruidas correspondientes a la *Red Andaluza de Daños sobre ecosistemas forestales en Andalucía* (ver Navarro-Cerrillo, 2004 para una breve explicación) junto a las estaciones reales de

Andalucía con presencia de pino silvestre para el período 1980 y 2002, se acentúa el deterioro en la Sierra de los Filabres en los puntos AL38, AL40 y AL56. De forma general, los demás puntos de la red también sufren un importante deterioro con respecto al intervalo 1940-2002, lo que indica un claro empeoramiento de la Sierra de los Filabres en el período 1980-2002. En la figura 8 se observa claramente la mayor separación de la zona de Filabres del resto de los puntos de la nube (los que corresponden a Granada), esto indica un empeoramiento de las condiciones ambientales para el pino silvestre en los últimos años. Aparentemente es tan extrema la anomalía en Filabres que no puede ser viable la supervivencia de esta especie cuando se va más de un 60% del rango natural válido para algunas variables, como sucede con ALTIO (**Tabla 2**).

En otros gráficos de la **figura 8** también puede apreciarse la profunda perturbación de la zona de los Filabres y, en general de las zonas de pino silvestre andaluz, hasta el punto de convertirse en nubes de puntos muy alejadas de la nube principal, lo que a nuestro juicio es determinante para reincidir en la imposibilidad del mantenimiento del pino silvestre en estas zonas. Variables tan diferentes como la ALTITUD matizada por el índice ómbrico, el índice ómbrico de verano IOV, la aridez A, el índice ómbrico global IO, la intensidad de la aridez K, precipitación P, índices de forma IFOR1, índices ómbricos extremos de verano e invierno IOFRI e IOEST, índice de continentalidad, IC, e índice de termicidad, IT; indican que el espacio paramétrico ha estado profundamente alterado en la Sierra de los Filabres durante 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 y, en cualquier momento, de forma brusca.

Discusión

La Sierra de los Filabres, con su importante superficie repoblada, es un ejemplo de las actuaciones de repoblación realizadas por los Servicios Forestales desde la década de los 50, y que en este enclave han dado lugar a más de 13.000 ha de masas de *Pinus sylvestris* y *P. nigra*, con una importante función ecológica y selvícola (Sanz et al., 2001). Sin embargo, el estado actual de estas masas, en particular debido a los procesos de decaimiento observados en el pino silvestre, hacen dudar de su estabilidad (Navarro-Cerrillo et al., 2007). Una de las hipótesis que se ha propuesto para explicar estos procesos es la mala elección de especie durante el proceso repoblador, lo cual, unido a un aumento de la aridez en la zona justificarían los procesos de mortalidad observados (Navarro-Cerrillo et al., 2006, Sánchez-Salguero et al., 2010). La carencia de información climática adecuada en el momento en que estás repoblaciones fueron diseñadas pudo inducir a una sobrevaloración de las precipitaciones en las cotas más elevadas.

En el compendio climático del punto de referencia para la zona obtenido a partir de la Red de Equilibrios de Andalucía (AL38) entre 1912 y 2002 se ve que la precipitación media anual estimada en casi un siglo es de 387 mm., mientras que la precipitación media mínima que se detecta en las masas naturales de pino silvestre (incluidas las andaluzas) es de 428 mm (Nícolas y Gandullo, 1969). Es decir, casi un 10% menor que la precipitación mínima exigible considerando todo el intervalo de existencia temporal de la serie de datos del punto AL38. La elección de un punto de tan baja precipitación para una repoblación de esta especie, desde el punto de vista del clima, podía explicarse de la forma siguiente. La mayor parte de los árboles muestreados tienen 30-35 años, por lo que el proceso de repoblación comenzó en el periodo que se extiende entre 1970-1975. La información climática de las estaciones meteorológicas usadas en aquel momento tuvo que ser la reflejada para un periodo anterior a esas fechas, y gran parte de ella data de después de 1950. El uso de esos datos correspondientes a un período entre 1950-1970, excepcionalmente lluvioso en el conjunto del último milenio y quizá dendroclimáticamente el período más lluvioso del mismo (Fernández Cancio y Manrique Menéndez, 1998; Manrique Menéndez y Fernández Cancio, 2000), para la elección de las especies de repoblación en la S^a de los Filabres pudo inducir a un error ya que la precipitación medias anuales observadas en ese periodo fueron de 419 mm, valores mínimos admisibles para el pino silvestre. Los técnicos responsables de la repoblación probablemente sólo pudieron acceder a esos datos, disponibles en el momento de tomar la decisión de repoblar en la S^a de los Filabres, lo que podría explicar, al menos en parte, la razón de su decisión. Si la elección pluviométrica de las estaciones se hubiese efectuado tomando datos entre 1950 y 1960, lo que puede ser también probable, la confusión hubiese sido todavía mayor, ya que los datos hubiesen arrojado valores de precipitación de 488 mm. En cualquiera de los casos, estos valores explicarían que la elección de especie efectuada fuese correcta con los datos existentes en aquel momento.

Entre el intervalo de máxima precipitación (1950-1960) y el de mínima (1990-2002), el rango de variación pluviométrica fue de 140 mm., con una pérdida del 29% (**Fig. 2 y 3**). Estacionalmente se ve que las modificaciones del punto AL38, aun no siendo muy acusadas (**Fig. 4**), debido a la situación oriental de las sierras estudiadas, muestran el efecto del diferente comportamiento térmico del Atlántico con respecto al Mediterráneo, el cual produce un aumento de las precipitaciones otoñales y una disminución en cantidades parecidas de las precipitaciones de primavera (de Luis et al., 2009).

Una revisión de la vegetación de la zona, comparándola con la existente en Baza y Sierra Nevada, hubiese podido ayudar a los repobladores a tomar una decisión más correcta. La ausencia en Filabres de sabina rastrera (*Juniperus sabina* L.), y la presencia de retamas (*Retama sphaerocarpa* L.) a altitudes elevadas indica condiciones lo bastante xéricas como para sospechar sobre la imposibilidad de establecer repoblaciones de pino silvestre. Los estudios sobre bioindicadores vegetales, que integran espacialmente la información fitoclimática, suele estar minusvalorada frente a los datos numéricos de las

estaciones; pero su comprensión es fundamental para saber cuando un territorio va a resultar apto para el establecimiento de determinada especie (Fernández-Cancio et al., 2007). La vegetación puede informar sobre períodos mucho más amplios que los registrados por los valores instrumentales y suele ser determinante para el conocimiento bioclimático de un territorio.

De igual manera que la ausencia de datos climáticos fiables, el no disponer de un sistema fitoclimático ajustado dificultó una buena elección de especie para las repoblaciones (Allué-Andrade, 1990). El estudio fitoclimático actual en los puntos AL38, AL40 y AL56 muestra la presencia dominante en la zona del subtipo IV(VI)₁ (mediterráneo arbóreo meseteño transicional con tendencias nemorales subesclerófilas e indicios subestépicas) y la tendencia altitudinal hacia el subtipo VI(IV)₁ (nemoromediterráneo arbóreo transicional subesclerófilo), subtipos que no son compatibles con masas de pino silvestre en ninguna zona de España. Analizando el conjunto peninsular sólo podrían aparecer masas densas de pino silvestre en la alta montaña mediterránea si el subtipo fitoclimático fuese un nemoroestepario marcescente VI(VII) con tendencias hacia el oroborealoide transicional VIII(VI) o hacia el nemoromediterráneo transicional húmedo o subtípico VI(IV)₂ y en puntos compensados térmica e hídricamente si apareciese un VI(VII) de carácter nemoral subestepario bien establecido (Allué-Andrade, 1990) siempre condicionado por el problema de la poca precipitación de estas sierras. Sin embargo, en las zonas más altas, no culminales, de las montañas béticas puede aparecer un subtipo IV(VII), que es muy similar al IV(VI)₁, aunque algo más frío. Quizá lo que exista en la realidad es un subtipo intermedio, que todavía está por definir por falta de datos, y que permitiría la existencia de pino laricio y silvestre sin formar masas naturales densas. Una definición completa de estos subtipos puede verse en Allué-Andrade (1990).

Como se señaló anteriormente, en estos puntos de IV(VII) el incremento térmico que se está produciendo comienza a dar signos de aparición de trazas de IV(VI)₁ o VI(IV)₁ que, por insuficiencia de precipitación, nunca podrían llegar al subtipo VI(IV)₂ compatible con el pino silvestre (Allué-Andrade, 1990). La evolución térmica de la zona de la sierra indica un aumento de la temperatura entre 0,5°C en las mínimas y 1°C en las máximas. Un punto representativo de estas zonas de altitud es el GY10, que con sus más de 1900 metros es culminar en la zona y que podría mantener pies sueltos de pino silvestre compensados ya que en nuestra revisión fitoclimática este punto se coloca dentro del subtipo IV(VII) lo que, de nuevo, parece excluir culminalmente la Sierra de los Filabres de la zona de existencia de masas densas de pino silvestre.

En definitiva, la ausencia altitudinal en GY10 de subtipos fitoclimáticos transicionales de tendencias nemorales frías o subestépicas y con pluviometría alta como son los ya nombrados VI(VII), VIII(VI) o VI(IV)₂, no parece ser compatible con masas densas de esta especie. No obstante, la posible indefinición de los datos a esa altitud podría originar la presencia de subtipos intermedios entre IV(VII)-VI(VII), localmente estabilizados, sobre los cuales se establecerían pies aislados de esta especie. Para detectar la presencia de estos puntos, muy variables, dentro de una topografía compleja no quedaría más remedio que establecer una homologación de los vectores de vegetación con los sistemas montañosos próximos que poseen pino silvestre, lo que es un aspecto a sugerir en próximos estudios sobre esta zona. A altitudes elevadas, la presencia de *Adenocarpus decorticans* Boiss., especie asociada a los encinares presentes con carácter residual, confirma la escasa viabilidad local de pino silvestre.

Estas zonas altas, aunque perteneciesen al subtipo IV(VII), si mantuviesen unas precipitaciones más elevadas podrían indicar mejores condiciones para el establecimiento de masas de esta especie. Sin embargo, una aridez estival superior a tres meses excluiría esta posibilidad salvo en zonas de muy alta precipitación, lo que no sucede aquí en ningún punto que no esté compensado hídricamente. La presencia de temperaturas mínimas en ascenso, con más incidencia que las máximas, en contraposición a lo que sucede en los puntos AL38 y AL40, también afecta negativamente a los depósitos de nieve y va en detrimento de la viabilidad de las repoblaciones ya que 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 (1960-1970) y quizá del milenio (Fernández Cancio y Manrique Menéndez, 1998), no se superaron compendialmente los 536 mm en el punto GY10; es decir, un 26% menos de lo necesario. En compendios más amplios de toda la serie meteorológica, se ve que en ningún caso se alcanza la compatibilidad y no se produce la transición hacia un subtipo subnemoral con aridez menor de tres meses del tipo VI(IV)₁, aunque éste tampoco sería compatible con el pino silvestre.

Es posible confirmar esta hipótesis si se observa la distribución del pino silvestre a nivel mundial. Compendialmente se observa que esta especie elude casi siempre su presencia en tipos subesteparios o con tendencias nemoromediterráneas secas. Así, el área mundial de pino silvestre aparece fuertemente ligada al tipo VIII o al VI húmedo de Walter, con matices mediterráneos siempre que la aridez estival sea menor de 3 meses (Allué-Andrade, 1990). Queda así excluido totalmente de los tipos esteparios VII y de los mediterráneos puros IV. La introgresión de variantes mediterráneas (IV), nemorales (VI) o estépicas (VII) en los subtipos propios de topografías y climas locales peninsulares como son el VIII(VI), IV(VII), VI(VII) o VI(IV)₂ mantienen en España al pino silvestre dentro de los tipos básicos mundiales VIII y VI, salvo en el caso de un genuino o

análogo IV(VII) quizá todavía no bien definido y propio, sobre todo, de la alta montaña mediterránea que, como dijimos, no es compatible con masas continuas aunque quizá sí con formaciones abiertas de pies aislados.

Estos análisis compendiales sobre intervalos largos indican, por tanto, que las masas de pino silvestre repobladas en la Sierra de los Filabres, están bastante fuera de rango pluviométrico con respecto a las masas naturales del resto 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. Quizá, como ya se dijo, sólo en los lugares de alta y prolongada innivación, combinada con aportes hídricos próximos, puedan sostenerse rodales o pies aislados de la especie. Esta situación parece clara en todo el rango altitudinal estudiado (1400-1900 m) por lo que el pino silvestre parece desde el punto de vista fisiognómico, incompatible con el clima de Filabres. Además 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 con 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%. Esto explica sobradamente tanto una elección equivocada como un decaimiento masivo. La posible elección de procedencias de pino silvestre del sector ibérico habría podido contribuir a agravar la situación de estas masas, aunque posiblemente no sea un factor determinante.

Conclusión

El estudio de las estaciones con masas repobladas de pino silvestre en la Sierra de los Filabres (Andalucía oriental, España) muestra un ejemplo de la importancia de un adecuado estudio fitoclimático en el proceso de elección de especies en una repoblación. Los procesos actuales de decaimiento observados en estas masas pueden ser el resultado de usar información climática insuficiente, o sesgada, asociada a un proceso de deterioro de las condiciones climáticas en las dos últimas décadas, y a la elección de un material de base inadecuado.

Las masas de pino silvestre de la Sierra de los Filabres están notablemente fuera de estación en todas sus características bioclimáticas y es probable que desaparezcan de forma progresiva o en eventos de muertes generalizadas como las observadas en el periodo 2001-2010, sobre todo si se acentúa la presión del cambio climático.

Tanto la actividad repobladora, como la selvicultura, en un contexto de cambio global debe partir de estudios fitoclimáticos adecuados, apoyados en la interpretación de la vegetación natural, lo que permitirá desarrollar, junto a otros aspectos de la gestión forestal, una selvicultura adaptativa más adecuada a las condiciones climáticas actuales.

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado en el marco del proyecto "Estudios de modelos de predicción de procesos de decaimiento en masas de *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arnold. en la Sierra de los Filabres a partir de datos dendrocronológicos" (Convenio Consejería de Medio Ambiente-Grupo PAI 360) y del Proyecto GESBOME (Junta de Andalucía P06-RNM-1890). Agradecemos a los técnicos de la Consejería de Medio Ambiente, y al grupo de sanidad forestal de EGMASA por el apoyo logístico, material y de personal para realizar este estudio. También agradecemos los comentarios de los evaluadores que han contribuido a mejorar la claridad del manuscrito.

Referencias

Allen, C., Macalady, A., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D., Hogg, E.; Gonzalez, P., Fensham, R., Zhangm, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J., Allard, G., Running, S., Semerci, A., Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259:660-684.

Allué-Andrade, J.L. 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Monografías del I.N.I.A. nº 69. Ministerio de Agricultura. Madrid, España.

Allué-Andrade, J.L. 1997. Tres nuevos modelos para la fitoclimatología forestal. Diagnóstico, idoneidad y dinámica de fitoclimas. En: Puertas, F., Rivas, M. (eds.). *Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso y II Congreso Forestal Español IRATI'97*, 1:31-40. Graficas Pamplona. Pamplona, España.

- Andreu, L., Gutiérrez, E., Macias, M., Ribas, M., Bosch, O., Camarero, J.J. 2007. Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests. *Global Change Biology* 13:804-815.
- Bonan, G.B. 2008. Forests and climate change: Forcing, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* 320:1444-1449.
- Brunet, M., Casado, M.J., De Castro, M., Galán, P., López, J.A., Martín, J.M., Pastor, A., Petisco, E., Ramos, P., Ribalaygua, J., Rodríguez, E., Sanz, I., Torres, L. 2009. *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, Madrid, España. 165 pp.
- Camarero, J. J., Lloret, F., Corcuera, L., Peñuelas, J., Gil-Pelegrín, E. 2004. Cambio global y decaimiento del bosque. En: Valladares, F.(ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, pp. 397-423, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- Creus Novau, J., Saz Sánchez, M.A. 2005. Las precipitaciones de la época cálida en el Sur de la provincia de Alicante desde 1550 a 1915. *Revista de Historia Moderna* 23:35-48.
- De Luis, M., González-Hidalgo, J.C., Longares, L.A., Štěpánek, P. 2009. Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of 20th century. *International Journal of Climatology* 29:1312-1323.
- Desprez-Loustau, M.L., Marçais, B., Nageleisen, L.M., Piou, D., Vannini, A. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science* 63: 597-612.
- Fernández Cancio, A., Manrique Menéndez, E., 1998. Nuevas aportaciones metodológicas a la investigación sobre la evolución del clima y fitoclima del último milenio. Sistema informático para la generación de datos climáticos y fitoclimáticos. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 7:19-43
- 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*. Nº de solicitud: 106.649 (provisional) Fecha de Presentación: 24/07/2001. España.
- Fernández Cancio, A., Navarro-Cerrillo, R.M., Fernández Fernández, R. 2006. Estudio fitoclimático de La Sierra de los Filabres. En: Navarro-Cerrillo, R.M., Fernández Cancio, A., Lara, A., Calzado, C. (eds.), *Evaluación de procesos de decaimiento en masas artificiales de pino silvestre en la Sierra de los Filabres. Análisis de sus causas y alternativas de control*, pp. 47-87, Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía, España.
- Fernández-Cancio, A.; Navarro Cerrillo, R.M., Fernández Fernández, R., Gil Hernández, P., Manrique Menéndez, E., Calzado Martínez, C. 2007. Climate classification of Abies pinsapo Boiss. Forests in Southern Spain. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16(3):222-229.
- Galiano, L., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F. 2010. Drought-induced multifactor decline of Scots pine in the Pyrenees and potential vegetation change by the expansion of co-occurring oak species. *Ecosystems* DOI: 10.1007/s10021-010-9368-8
- Gandullo J.M., Sánchez Palomares, O. 1994. *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*. ICONA. Col. Técnica. Madrid, España.
- Innes, J.L. 1993. *Forest health. Its assessment and status*. CAB Int. Wallingford, UK.
- Klap J.M., Oude Voshaar J.H., De Vries W., Erisman J.W. 2000. Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part IV: Statistical analysis of relationships. *Water, Air and Soil Pollution* 119:387-420.
- Manion, P.D. 1991. *Tree disease concepts*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, UK.
- Manrique Menéndez, E. 1993. *Informatizaciones CLIMOAL*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Manrique Menéndez, E.; Fernández Cancio, A. 2000. Extreme climatic events in dendroclimatic reconstructions from Spain. *Climatic Change* 44:123-138.

- Martínez Vilalta, J., Piñol, J., Beven, K. 2002. A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean. *Ecological Modelling* 155:127-147.
- Martínez Vilalta, J., López, B.C., Adell, N., Badiella, L., Ninyerola, M. 2008. Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate interactions. *Global Change Biology* 14:2868-2881.
- McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Sperry, J., West, A., Williams, D., Yezzer, E.A. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist* 178:719-739.
- Millán M.M., Sanz, M.J. 1993. *La contaminación atmosférica en la Comunidad Valenciana: Estado de conocimientos sobre los problemas en el Maestrazgo y Els Ports de Castellón*. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Valencia, España.
- Navarro Cerrillo, R.M. 2004. Valoración de los daños. Un ejemplo concreto: evaluación de daños de seca en Andalucía. En: Tuset, J y Sánchez, G. (eds.). *La seca: el decaimiento de encinas, alcornoques y otros Quercus de España*, pp. 341-359, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- Navarro Cerrillo, R.M., Fernández Cancio, A., Lara, A., Calzado, C. 2006. *Evaluación de procesos de decaimiento en masas artificiales de pino silvestre en la Sª de los Filabres. Análisis de sus causas y alternativas de control*. 169 pp. Consejería de Medio Ambiente-Junta de Andalucía, España.
- Navarro-Cerrillo, R.M., Varo, M.A., Lanjeri, S., Hernández Clemente, R. 2007. Cartografía de defoliación en los pinares de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y pino salgareño (*Pinus nigra* Arn.) en la Sierra de los Filabres. *Ecosistemas* 16:163-171.
- Navarro-Cerrillo, R.M.; Hernández-Clemente, R.; Frieyro de Lara, J.E.; Hayas López, A. 2010. Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index and chlorophyll concentration in *Pinus sylvestris* and *P. nigra* plantations in southern Spain. En: *Forestsat 2010, 7-10 de septiembre, Lugo*.
[<http://www.efimed.efi.int/files/attachments/efimed/news/preliminary-program-forestsat2010.pdf>]
- Nicolás A., Gandullo, J.M. 1969. *Ecología de los pinares españoles II: Pinus sylvestris* L. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, España, 305 pp.
- Peñas, J.; Cabello, J.; Oyonarte, C. y Mota, J. F. 1995. Variación altitudinal y diversidad vegetal en matorrales: Sierra de los Filabres (Almería, España). *Acta Botánica Malacitana* 20:133-142.
- Peñuelas, J., Lloret, F., Montoya, R. 2001. Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science* 47:214-218.
- Rebetez, M., Dobbertin, M. 2004 Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theoretical and Applied Climatology* 79:1-9.
- Rivas Martínez, S. 2007. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación en España. Memoria del mapa de vegetación potencial de España. Parte 1. *Itinera Geobotánica* 17:1-222.
- Ruiz de la Torre, J. 2006. *Flora Mayor*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, España. 1760 pp.
- 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.
- Sánchez-Salguero, R.; Navarro-Cerrillo, R.M., Camarero, J.J., Fernández-Cancio, A. 2010. Drought-induced growth decline of Aleppo and maritime pine forests in south-eastern Spain. *Forest Systems* 19:458-469.
- Sanz Harráiz, C.; López Estébanez, N. y Molina Holgado, P. 2001. Composición, estructura y evolución de las repoblaciones forestales de la Sierra de los Filabres (Almería-España). Montes para la sociedad del nuevo milenio. En: *Actas III Congreso Forestal español, 25-28 sept. 2001 Granada*, págs. 434-439. Junta de Andalucía, Granada, vol. I.