

**INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA
EN EL CRECIMIENTO RADIAL DE PINUS UNCINATA
RAMOND Y PINUS NIGRA ARNOLD SUBSP. SALZMANNII
(DUNAL) FRANCO EN LA PROVINCIA DE TERUEL**

J. CREUS NOVAU
M. A. SAZ SÁNCHEZ

Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC.
Apdo. 64. E-22700 – Jaca (Huesca)
e-mail: jcreus@ipe.csic.es

ABSTRACT.— *We studied in this paper how the climate influences the secondary growth of Pinus uncinata Ramond in the mountains of Gúdar and Pinus nigra Arnold subsp. salzmannii (Dunal) Franco in the area of Mosqueruela and Javalambre sierra, all these places belonging to the Teruel province (Spain). The growth of P. nigra is influenced by the positive effect of the precipitations of the warm season, while the excessive heat of this same period acts as unfavorable factor and may inhibit its development. On the contrary, the greatest growth of P. uncinata is positively related with the combined action of humidity and heat during the warm phase, but this last climatic variable does not imply a clear restrictive factor.*

RÉSUMÉ.— *On étudie l'influence du climat dans l'accroissement secondaire du Pinus uncinata Ramond dans la montagne de Gúdar et du Pinus nigra Arnold subsp. salzmannii (Dunal) Franco de la région de Mosqueruela et montagne de Javalambre, localités situées dans la province de Teruel (Espagne). L'accroissement de P. nigra est très influencé par l'effet positif des précipitations en temps chaud, tandis que la chaleur excessive de cette même période agit comme facteur défavorable qui empêche son accroissement. Au contraire, les plus grands accroissements de P. uncinata s'effectuent avec l'action combinée de l'humidité et de la chaleur pendant la phase chaude, sans que cette dernière variable climatique arrive à être restrictive.*

RESUMEN.— *Se estudia la influencia del clima en el crecimiento secundario de los Pinus uncinata Ramond de la sierra de Gúdar y de los Pinus nigra Arnold subsp. salzmannii (Dunal) Franco de la zona de Mosqueruela y sierra de Javalambre, todas en la provincia de Teruel (España). El crecimiento de P. nigra está*

*muy influido por el efecto positivo de las precipitaciones de la época cálida, mientras que el calor excesivo de este mismo periodo actúa como factor desfavorable e inhibe su desarrollo. Por el contrario, los mayores crecimientos de *P. uncinata* se relacionan de forma positiva con la acción conjunta de la presencia de humedad y calor durante la fase cálida, sin que esta última variable climática suponga un claro factor limitante.*

Key words: Dendroecology, *P. uncinata* and *P. nigra*, tree-ring, response function.

1. Introducción

Dentro del proceso de desarrollo del árbol, el comienzo de la actividad cambial está condicionado por fitohormonas producidas por los brotes nuevos que inician su desarrollo, a su vez influidos por variables climáticas como la temperatura y la precipitación (KOZLOWSKI *et al.*, 1991). Por tanto, la serie de anillos de crecimiento anual de las especies leñosas en zonas con clima de marcada estacionalidad constituye un registro del conjunto de factores climáticos que tienen lugar durante ese periodo y que se manifiestan en una tasa de crecimiento radial de unas determinadas características (CREBER & CHALONER, 1984; LARSON, 1994). Sin embargo, la influencia de cada uno de estos factores climáticos en la formación del anillo todavía es difícil de precisar, y mucho más individualizarla, debido a la gran capacidad integradora del árbol y a la complejidad de interacciones que actúan.

Desde hace unos años, la dendroclimatología trata de conocer y cuantificar el mensaje climático contenido en las variaciones anuales de ciertas características de los anillos de crecimiento (anchura, densidad de la madera, contenido isotópico, etc.), principalmente a través de la "función respuesta" o modelo cuantitativo de las relaciones existentes entre dichas características y el clima de un lugar determinado (FRITTS, 1976; SERRE & TESSIER, 1990). Recientemente, para profundizar en este complejo sistema de relaciones se han propuesto otras metodologías estadísticas basadas en el concepto de "superficies de respuesta" y "redes neuronales" para mejor modelizarlas. A pesar del indudable avance, todavía es una cuestión no resuelta dada la complejidad de su modelización e interpretación (ZHANG *et al.*, 2000).

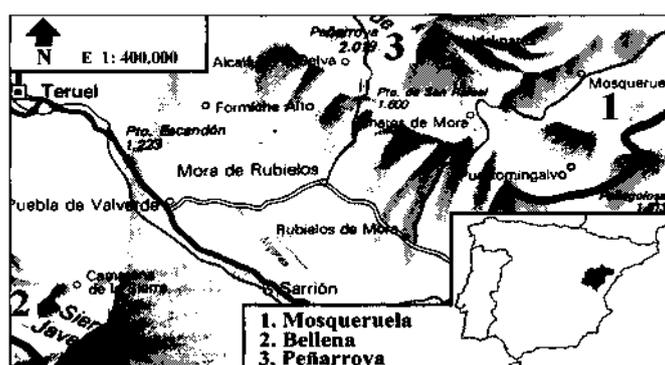
El objetivo de este trabajo es exponer los resultados de las funciones respuesta calculadas para *Pinus uncinata* Ramond y *Pinus nigra* Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco en tres localidades de la provincia de Teruel. Con ellas se pretende conocer la señal climática recogida por ambas especies y contribuir a interpretar su autoecología a partir de las variables climáticas que más influyen en su crecimiento secundario.

2. Material y métodos

2.1. Zonas estudiadas

A mediados de la década de los ochenta se llevaron a cabo prospecciones dendrocronológicas en la provincia de Teruel (RICHTER, 1986, 1986a, 1988, 1991), pero más encaminadas a valorar la potencialidad dendrocronológica de los bosques de la zona que a interpretar su crecimiento en términos climáticos. Sin embargo, los crecimientos de las muestras entonces obtenidas mostraban una elevada sensibilidad, lo cual las hacía muy adecuadas para estudiar e interpretar la influencia del clima en su desarrollo. Por este motivo, en los años noventa, realizamos muestreos en tres zonas de la provincia de Teruel con el fin de construir otras tantas cronologías locales lo más sólidas posible con las que calcular las correspondientes funciones respuesta para cada especie y lugar.

Un muestreo se hizo en la zona de Mosqueruela (Mapa 1), donde se construyó una cronología con 14 ejemplares de *Pinus nigra* Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco elegidos en las estribaciones de la sierra de Mayabona (40°-21' N y 0°-22' W) situada al este del pueblo de Mosqueruela. Los pinares muestreados, entre 1300 y 1400 m de altitud, se caracterizan por una escasa densidad de pies adultos y muy poca regeneración. Están situados sobre suelos esqueléticos y sustrato calizo muy compacto en forma de paramera profundamente disecada por la red fluvial. Climáticamente se ubican en el piso fitoclimático nemoromediterráneo genuino [VI (IV)₂] de la clasificación de Allué (ALLUÉ, 1990). La teóricas dificultades para su desarrollo radicular los hacían potencialmente muy sensibles al clima, aspecto que tratamos de maximizar eligiendo individuos aislados para, en la medida de lo posible, eliminar efectos de competencia.



Mapa 1. Zonas de estudio.
Map 1. The study sites.

Una segunda zona muestreada fue la cabecera del barranco Bellena (40°-07'N y 1°-05' W), afluente del río Turia, que drena las estribaciones occidentales de la sierra de Javalambre. Se recogieron 30 muestras de *P. nigra* Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco entre los 1400 y 1450 m de altitud, en laderas de fuerte pendiente formadas por areniscas con algún banco calizo intercalado, muy erosionadas y con escasa capacidad de regulación hídrica. Esta zona se ubica en el piso fitoclimático nemoromediterráneo genuino [VI (IV)₂] de la clasificación de Allué (ALLUÉ, 1990). Los bosquetes que cubren las laderas del barranco forman una masa forestal relativamente densa con individuos de edad muy variada, por lo que el muestreo estuvo muy dirigido hacia los árboles aparentemente más viejos. A pesar de que el diámetro medio de las muestras fue el menor de las tres localidades estudiadas, la edad máxima encontrada en esta localidad fue la mayor de las tres. Sirva de ejemplo un árbol de sólo 22 cm de radio y una edad de 410 años.

En ambas localidades, ubicadas en plena área de distribución de *P. nigra*, domina un sotobosque caracterizado por un importante componente florístico submediterráneo-continental, con presencia de enebro común (*Juniperus communis*), sabinas rastreras (*Juniperus sabina*), *Aquilegia vulgaris*, *Astragalus granatensis*, etc., en un entorno de gran variedad de elementos florísticos termófilos, submediterráneos y xerofíticos, etc. (BLANCO *et al.*, 1997), indicadores de la mediterraneidad y continentalidad climáticas que concurren en la zona.

La tercera cronología se construyó con 30 muestras de *Pinus uncinata* Ramond elegidas en las inmediaciones (40°-23'N y 0°-40' W) del pico Peñarroya (2019 m), punto culminante de la sierra de Gúdar. Dicha población constituye el límite meridional de la especie, por lo cual cabe esperar mayor sensibilidad al estar más limitada por el clima (FRITTS, 1976). La litología dominante son potentes niveles calizos de origen marino alternando con margas y areniscas cuya estructura predominantemente horizontal facilita la conservación de suelos algo más profundos. Se trata de un pinar oromediterráneo con presencia de enebro rastrero (*Juniperus communis* subsp. *alpina*), gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*), etc. y sustrato formado por ericáceas tipo *Vaccinium myrtillus* y algunas breccinas (*Calluna vulgaris*). En las vertientes solanas existe un mayor dominio de *Juniperus sabina* debido a la degradación por sobrepastoreo. El estrato herbáceo cuenta con presencia de *Festuca indigesta*, *Agrostis tenuis*, etc. En su conjunto forman comunidades muy relacionadas con una fuerte oscilación térmica, una importante innivación y elevada insolación durante todo el año (BLANCO *et al.*, 1997). Este pinar de *P. uncinata* se sitúa en el piso fitoclimático oroborealoide subnemoral [VIII (VI)] (ALLUÉ, 1990).

2.2. Extracción de muestras, medición y obtención de las cronologías

Con una barrena Pressler de 5 mm de diámetro y a 130 cms del suelo se extrajeron dos muestras (*cores*) por árbol, procurando que fuesen de dirección opuesta y a poder ser la norte-sur. Su posterior tratamiento en el laboratorio, secado, colocación en soportes de madera, pulido o corte de las muestras, medición perpendicular del grosor de cada uno de los anillos con precisión de 0,01 mm (ANIOL, 1983), su sincronización y finalmente su estandarización se realizaron siguiendo la metodología tradicional en dendrocronología que puede ser consultada en la amplia bibliografía existente (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 1988; COOK & KAIRIUKSTIS, 1990; CREUS *et al.*, 1997; etc.). La serie promedio de índices de crecimiento de cada localidad procede de una media robusta ("*biweight mean*") de las series individuales (*cores*) para así reducir el efecto de los valores muy alejados de la media, previa datación absoluta entre ellas (proceso de sincronización utilizando el programa COFECHA).

Una vez sincronizadas las muestras se eliminó el componente debido a la edad por medio de funciones "*spline*" (programa ARSTAN), con filtros de distinta potencia cuando lo requería la poca concordancia común de la variabilidad de media frecuencia, hasta conseguir el mayor valor posible de señal común y coincidencia poblacional (COOK & KAIRIUKSTIS, 1990). En la mayoría de los casos han sido funciones "*spline*" con punto de corte (*cutoff*) en el 50% de la frecuencia. Para estabilizar la media y hacer homogénea la varianza, los valores reales se transforman en índices al relacionar cada incremento real con el valor obtenido por el modelo estadístico ajustado o función teórica de crecimiento. Finalmente, la media robusta de las series de índices de cada localidad proporciona la cronología de la zona.

Las cronologías utilizadas para el cálculo de las funciones respuesta han sido las estándar, por ser las más comúnmente empleadas en trabajos de este tipo y por permitir un mejor proceso del análisis estadístico al no eliminar las oscilaciones de alta frecuencia que pudieran estar relacionadas con factores ecológicos (COOK, 1985).

2.3. Sensibilidad Media y representatividad de las dendrocronologías

La información que ofrece una serie de crecimientos depende de su variabilidad interanual, siendo nula cuando todos los anillos de crecimiento anuales son iguales. Uno de los parámetros utilizados para medir la idoneidad de una dendrocronología, y en definitiva su teórica capacidad para aportar información, es la Sensibilidad Media (SM), que cuantifica en forma de índice el porcentaje medio de cambio del grosor de cada anillo respecto del

siguiente. De esta forma se valora la sensibilidad de los árboles a las variaciones anuales e intranuales del clima, dado que estas condicionan en gran medida su crecimiento (FRITTS, 1976).

Su formulación es:

$$SM = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \frac{2(X_{t+1} - X_t)}{(X_{t+1} + X_t)}$$

siendo "X" el crecimiento del año "t" y "n" el número de años de la muestra.

Otros dos parámetros a considerar (véase Cuadro 1) son la tasa señal/ruido y la concordancia poblacional, obtenidos a partir del análisis de la varianza. La primera depende fuertemente del número de muestras utilizadas y se refiere a la cantidad de información climática contenida en los anillos de crecimiento. Es de gran interés para el estudio de un problema concreto, en este caso para valorar la cantidad de señal climática recogida en las muestras, validando de forma estadística la señal recogida en la cronología media. Es un parámetro que varía en relación al número de muestras incluidas en cada cronología, pero se considera que valores superiores a 5 son suficientes para validar tal variabilidad (COOK & KAIRIUKSTIS, 1990).

La coincidencia poblacional es otro estadístico que complementa la descripción de las cronologías que se construyen. Es una medida de su representatividad, en relación a la que se obtendría con un número teórico de series (muestras) que aportararan un máximo de señal común. Se asume que una incertidumbre del 15-20% (debida a la reducción del número de muestras respecto al máximo teórico) es un valor muy aceptable (COOK & KAIRIUKSTIS, 1990). En el apartado de resultados se comentan los valores de ambos parámetros.

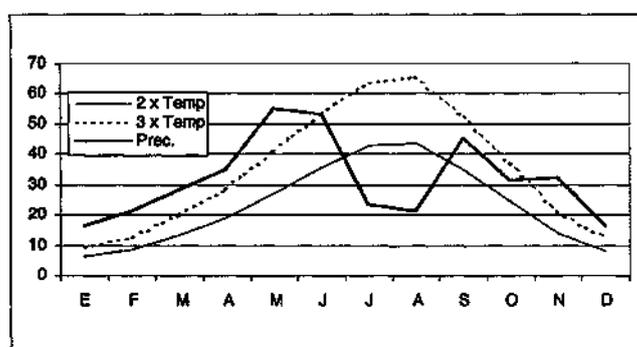
2. 4. Los datos climáticos

Para establecer la relación entre el crecimiento radial y los factores climáticos susceptibles de influir en las variaciones de grosor de los anillos se calcula una función respuesta entre cada cronología y los valores climáticos registrados en un observatorio convencional. Se eligió el observatorio de Teruel por la necesidad de disponer de un registro fiable y continuo de datos meteorológicos mensuales, año a año durante un mínimo de 40 años, para calcular dichas funciones respuesta. En nuestro caso, además, dichos 40 años debían ser anteriores a los años noventa en que se realizaron los muestreos.

INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO DE PINUS...

Tales requisitos descartaron la totalidad de observatorios más inmediatos, quedando como única opción el de Teruel que sí aportaba una fiable larga serie de años, de la que se utilizó el periodo 1947-1990. Está situado a 915 m de altitud y a 40°-05' N y 1°-06' W.

La Figura 1 reúne los datos más representativos de dicho observatorio, promedio de los años 1947 a 1990. Su temperatura media anual es de 11,6°C y la precipitación total sólo alcanza los 381 mm. Su elevada continentalidad la pone de manifiesto una oscilación térmica media anual (media de las máximas del mes más cálido – media de las mínimas del mes más frío) de 32 °C y una oscilación extrema que supera los 50 °C.



	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	JL	A	AÑO
TM	17,3	12,2	7,0	4,0	3,1	4,2	6,7	9,5	13,7	17,8	21,3	21,9	11,6
P50	31	32	16	16	21	28	35	55	53	23	21	381	
ETP = 683 mm				Déficit=302mm				Tipo de clima= DB1' db3'					

Figura 1. Ombrotermograma de Teruel (años 1947-1990).
Figure 1. Ombrothermogram of Teruel (years 1947-1990).

La distribución mensual de la precipitación y temperatura son bien representativas del clima interior bajoaragonés, térmicamente extremado y con un elevado déficit de humedad (302 mm) que afecta a casi todo el periodo cálido. Según el criterio de Gausson de considerar meses áridos aquellos cuyo valor de precipitación es inferior a 2 veces la temperatura, julio y agosto entran de lleno en esa consideración y marcan el momento de máxima aridez dentro del periodo anual. Si además utilizamos el concepto de "subaridez" referida a aquellos meses en que la precipitación no rebasa tres veces el valor de la temperatura, el periodo con falta de humedad se inicia ya en junio y se prolonga hasta septiembre y octubre, conformando un periodo de 5 meses que agrupan la totalidad del déficit de precipitación.

El régimen de lluvias es claramente equinoccial, con un máximo primario en mayo-junio y otro secundario en septiembre de fuerte influencia mediterránea. Aunque los valores de precipitación de julio y agosto no son excesivamente reducidos, la sequía real es probable que sea mayor de lo que podría deducirse de los valores pluviométricos de ambos meses. Ello se debe a la frecuencia de tormentas asociadas al calor que aportan la mayor parte de la lluvia de los meses estivales, con valores máximos en 24 horas cercanos a los 100 mm (PEÑA *et al.*, 2002); entonces la fuerte intensidad y violencia con que precipitan ocasionan una rápida escorrentía que drena gran parte de la lluvia y, en consecuencia, su aprovechamiento es muy escaso. Aplicando la clasificación climática de Thornthwaite a los datos del observatorio de Teruel concluimos que se trata de un clima semiárido y mesotérmico I (Evapotranspiración potencial de 683 mm anuales), sin exceso de humedad y una concentración estival de la eficacia térmica cercana al 55%. Según la clasificación fitoclimática de Allué corresponde a un nemoromediterráneo genuino [VI (IV)₁].

2.5. La función respuesta del crecimiento ante el clima

Se modeliza en una función matemática que expresa la relación entre el crecimiento anual de los árboles y las variables climáticas. Un método muy utilizado desde hace años es la regresión múltiple en componentes principales (FRITTS, 1976; GUIOT, 1990) que permite tener en cuenta la posible multicolinealidad que con frecuencia tienen los datos climáticos (CREUS & BEORLEGUI, 1996). Como regresores del grosor de los anillos se utiliza un número reducido de componentes principales, ortogonales y por definición no correlacionados entre sí, obtenidos del análisis de los datos meteorológicos. Estos componentes son las nuevas variables que se introducen en el modelo según un criterio de mayor varianza explicada. Mediante técnicas "bootstrap" se eligen distintos intervalos de entre los años utilizados (en nuestro caso 1947-1990) para calibrar el modelo de relaciones y finalmente elegir aquellas variables que se muestran más significativas en las sucesivas calibraciones y verificaciones. En los tres casos estudiados se hicieron 50 permutaciones, número normalmente suficiente para alcanzar la estabilidad de la varianza (GUIOT, 1990 y 1991). Todo el proceso estadístico se ha realizado con el programa PRECON que al aplicar técnicas "bootstrap" la verificación es inmediata y no requiere un periodo de datos climáticos diferente al de calibración. En nuestro proceso de cálculo se han introducido 31 regresores por año (15 valores consecutivos de precipitación y temperaturas medias mensuales tomados desde julio del año anterior hasta septiembre del año del crecimiento, además del crecimiento del año anterior) y durante los 44 años indi-

cados. Con la inclusión de variables anteriores al año del crecimiento se pretende tener en cuenta la inercia que tiene el crecimiento, cuyo efecto puede manifestarse en el siguiente e incluso en más años sucesivos.

3. Resultados y discusión

3.1. Estadísticos de las cronologías

Con el proceso de sincronización se consigue una datación absoluta de cada uno de los anillos de crecimiento, lo que permite conocer los años de la muestra extraída (Cuadro 1) o la edad del árbol a 130 cm de su base si la muestra ha alcanzado la médula.

Cuadro 1. Estadísticos de las cronologías estándar.
Table 1. Characteristics of the standard chronologies.

	<i>Mosqueruela</i>	<i>Bellena</i>	<i>Peñarroya</i>
Especie	<i>P. nigra</i>	<i>P. nigra</i>	<i>P. uncinata</i>
Edad máxima (años)	336	410	351
Edad media (años)	311	346	332
Crecimiento medio anual (mm)	1,76	0,83	1,07
Desviación estándar (mm)	0,25	0,20	0,16
Autocorrelación. 1r orden	0,59	0,27	0,49
2º orden	0,11	-0,11	0,10
3r orden	0,20	-0,01	-0,03
Correlación entre muestras	0,29	0,27	0,25
Coefficiente de sensibilidad	0,28	0,24	0,27
Tasa señal / ruido	6,01	8,02	9,31
Concordancia poblacional	83,20	84,00	87,60

En la localidad de Bellena el *Pinus nigra* de mayor edad encontrado tenía 410 años, siendo además la zona donde el muestreo detectó más árboles viejos (el 40% de las muestras seleccionadas superaban los 320 años). En la localidad de Peñarroya, la edad máxima de los *P. uncinata* es algo menor (351 años), al igual que la media de los de mayor edad ya que sólo el 34% superaban los 320 años. Finalmente, los *P. nigra* de Mosqueruela-Mayabona tienen una edad máxima inferior a las otras dos localidades, tanto en su valor absoluto (336 años el árbol de mayor edad) como en muestra poblacional (sólo el 35% de los árboles muestreados superaban los 292 años).

Aunque la diferencia de edad es un factor importante para explicar las diferencias en el crecimiento medio, en este caso apenas debe considerarse como variable significativa, dado que las diferencias absolutas de dichos valores no son lo suficientemente distintas como para no poder comparar su crecimiento, por mucho que este disminuya conforme aumenta la edad.

Tal como se indica en el Cuadro 1, la cronología de Mosqueruela y la de Bellena son de *P. nigra* y, sin embargo, el crecimiento medio de las muestras elegidas en la primera localidad (media de 1,7 mm/año) supera en más de un 100% el de la segunda (0,8 mm/año).

En la zona de Peñarroya, el crecimiento radial-medio de *P. uncinata* es 1,07 mm/año, intermedio entre las dos anteriores localidades, aunque más próximo a los valores de Bellena. Tal valor es ligeramente superior al encontrado en el sector NW de la cordillera Ibérica donde, con muestras de menor edad, el crecimiento medio es de 0,79 mm/año, si bien en muestras concretas puede ser mucho mayor, de hasta 2,5 mm/año de media (GÉNOVA, 1986).

3.2. Valores de Sensibilidad Media, tasa señal-ruído y concordancia poblacional

En el Cuadro 1 figuran los resultados de los tres estadísticos. La mayor Sensibilidad Media (SM) corresponde a los *Pinus nigra* de Mosqueruela (0,28), seguida de la obtenida con las muestras del barranco Bellena (0,24), si bien su diferencia no es grande. Los *P. uncinata* de Peñarroya, al igual que con el crecimiento medio, también tienen un comportamiento intermedio (0,27) respecto de los *P. nigra*, aunque su sensibilidad ante el clima es más parecida a la obtenida en la primera localidad, a pesar de ser distinta especie y vivir a mayor altitud.

La SM de los *P. uncinata* de Peñarroya supera a la obtenida con esta misma especie en la Cordillera Ibérica septentrional donde otros autores han obtenido valores próximos a 0,20 (RUIZ, 1988) y entre 0,14-0,20 (excepcionalmente 0,26 en una muestra) en zonas cercanas (GÉNOVA, 1986). A su vez también superan la conseguida con otras cronologías del Pirineo occidental y central, cuyo índice apenas superó el valor 0,20 (CREUS & PUIGDEFÁBREGAS, 1976; RUIZ, 1988). Por el contrario, son ligeramente inferiores a los obtenidos en el Pirineo oriental donde se citan valores comprendidos entre 0,22 y 0,30 (GUTIÉRREZ, 1991; ROLLAND & FLORENCE SCHUELLER, 1994). Un análisis global de estos datos parece mostrar un gradiente de incremento de la sensibilidad hacia el este y sur de la cordillera Pirenaica, en la misma dirección en que disminuyen las precipitaciones. Probablemente sea esta variable la que mayor incidencia tenga sobre el crecimiento en zonas donde la precipitación es escasa, irregular y por tanto limitante del crecimiento.

La sensibilidad media que muestran los *P. nigra* de las localidades de Bellena y Mosqueruela es bastante similar a la que aporta esta misma especie en la serranía de Cuenca, donde estudios realizados con un amplio número de cronologías citan valores entre 0,25 y 0,26 (GÉNOVA, 1994). Finalmente cabe indicar que la sensibilidad media de la cronología de Bellena es muy similar a la obtenida en la localidad más meridional de España donde se ha calculado dicho índice para *P. nigra* (CREUS & PUIGDEFÁBREGAS, 1983). En conjunto, son valores que superan los de otras especies en ámbitos europeos (SERRE, 1982), pero bastante inferiores a los que aporta *P. halepensis* en el sur de Francia donde se han conseguido sensibilidades de 0,37 (SERRE, 1976).

A partir de un análisis de la varianza se ha calculado la tasa señal/ruido y la concordancia poblacional de las dos especies en las tres localidades. En el apartado 2.3 se ha indicado que los valores de tasa señal/ruido próximos a 5 pueden considerarse significativos (BRIFFA & JONES, 1990), condición que cumplen sobradamente las tres cronologías (Mosqueruela: 6,00 ; Bellena: 8,01 y Peñarroya: 9,31). En cuanto a la significación estadística de la concordancia poblacional se asume que valores próximos al 80% son suficientemente representativos, dado que una incertidumbre del 15-20% es un valor muy aceptable (COOK & KAIRIUKSTIS, 1990). Condición que se cumple en los tres casos (Cuadro 1), hasta un valor máximo del 87% en la localidad de Peñarroya. Ambos estadísticos coinciden en señalar que la cronología de Peñarroya formada por muestras de *P. uncinata* es la que mayor señal recoge y mejor representa al conjunto de la población de procedencia, aunque todas superan los límites de representatividad exigibles. Por consiguiente, es posible afirmar que las tres cronologías están construidas con un número suficiente de muestras como para que sean consideradas estimadores adecuados de las respectivas poblaciones de donde proceden.

3.3. Función respuesta: varianzas explicadas por el clima y el crecimiento previo

Con el programa PRECON se ha calculado la función respuesta de las tres localidades, resumidas en los Figuras 2, 3 y 4 de los apartados siguientes. En ellas se muestran los coeficientes de cada variable, indicando su importancia y el sentido de la relación. A modo de síntesis de la relación clima-crecimiento, en el Cuadro 2 se indica la varianza total explicada por cada función, desglosada entre la debida al clima y la relacionada con el crecimiento del año anterior.

En Mosqueruela el clima explica el 62,7% de la varianza total del crecimiento de *Pinus nigra*, que unido al 10,1% atribuible al efecto acumulado del crecimiento del año anterior se consigue una función respuesta (R^2 Total) que explica el 72,8% de la variabilidad del crecimiento a lo largo de los 44 años citados.

Esta población de *P. nigra* es la que más acusa el efecto del clima, si bien el mayor efecto combinado entre clima y crecimiento del año anterior corresponde a los *P. uncinata* de la zona de Peñarroya (79,4%). Evidentemente, el crecimiento del año anterior es una variable que no puede separarse del conjunto del proceso, y aunque en los tres casos es pequeña, al incluirla en la regresión se consiguen R^2 superiores a 0,6 altamente significativas en los tres casos ($p < 0,001$).

Cuadro 2. Varianza del crecimiento anual (Total) explicado por el clima y el crecimiento del año anterior.

Table 2. Variance of the annual growth (Total) explained by the climate and the growth of the previous year.

	Periodo calibrado	R^2 clima	R^2 t-1*	R^2 Total
Mosqueruela	1947-1990	0,627	0,101	0,728 ($p < 0,001$)
Bellena	1947-1990	0,481	0,125	0,606 ($p < 0,001$)
Peñarroya	1947-1990	0,556	0,237	0,794 ($p < 0,001$)
* t-1 = crecimiento del año anterior				

La variabilidad del crecimiento de los *P. uncinata* de Peñarroya explicada por el clima y crecimiento del año anterior está muy por encima del valor conseguido en el Pirineo catalán donde otros estudios aportan R^2 entre 0,35 y 0,50, y excepcionalmente el valor 0,69 (GUTIÉRREZ, 1991). Estudiando esta misma especie en puntos de Pirineo central y de la cordillera Ibérica otros autores han obtenido valores entre 0,5 y 0,6 (RUIZ, 1989), incluso de hasta 0,92 en el Pirineo oriental (GÉNOVA, 1986), si bien son resultados no del todo comparables dado que para obtener las varianzas utilizaron otras técnicas estadísticas, principalmente regresiones múltiples paso a paso (*stepwise*).

Las funciones respuesta calculadas para los *P. nigra* de Mosqueruela y Bellena también explican varianzas en el crecimiento sensiblemente superiores a las obtenidas con cronologías de esta misma especie procedentes de la cordillera Ibérica meridional conquense, donde el clima y el crecimiento del año anterior explican entre el 40 y 45% de la variabilidad del crecimiento (GÉNOVA, 1994). En este caso los datos son totalmente comparables al haber utilizado la misma metodología estadística que nosotros.

Dado que la varianza explicada únicamente por el clima es, en general, también superior en las dos especies estudiadas respecto de las obtenidas en el Pirineo y cordillera Ibérica, permite destacar la elevada sensibilidad de dichas especies ante el clima y, en definitiva, la potencialidad dendroclimática de esta zona turolense.

La función respuesta de cada localidad (Figuras 2-A, 3-A y 4-A) muestra el valor y el signo (positivo o negativo) de los coeficientes de la regresión de

cada uno de los 31 predictores introducidos en el análisis para explicar el crecimiento de *P. uncinata* y *P. nigra*. Los signos positivos expresan una relación directa entre los datos meteorológicos y el crecimiento del árbol, mientras que los negativos indican relaciones inversas. Las Figuras 2-B, 3-B y 4-B, que acompañan a las anteriores, muestran la secuencia temporal de los valores del índice del crecimiento anual (REA), los valores estimados por el modelo de regresiones calculado por la función respuesta (EST) y su correspondiente R^2 entre ambas. También dibujan el valor del residual (RES) de cada uno de los años, entendido como el "ruido" del sistema correspondiente a otro tipo de "señal" no incluida en el modelo de relaciones empleado por nosotros (temperatura, precipitación y crecimiento del año anterior).

Además del elevado valor de R^2 obtenido, conviene destacar, en los tres casos, que las series de residuos corroboran el buen ajuste de los datos estimados por el modelo calculado y los índices reales, además de no existir ninguna secuencia de años en los que los índices reales hayan sido muy infravalorados o supervalorados por el modelo, lo cual desvirtuaría su calidad. Solamente en algunos años concretos, a veces coincidentes con los de índice más grande o pequeño, se dibujan valores destacables de residuos, pero siempre inferiores al 20% del índice real. Por consiguiente, consideramos que las funciones respuesta de las tres cronologías explican satisfactoriamente las series de índices de crecimiento, por medio de la ecuación ajustada a la secuencia de 44 años.

3.4. Relación entre el clima y el crecimiento de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*

Las funciones respuesta de las Figuras 2-A y 3-A muestran la importancia de cada una de las 30 variables climáticas (PRE y TEM) y el crecimiento del año anterior (PGR) en el desarrollo de *P. nigra* en las localidades de Mosqueruela y Bellena, respectivamente. Su mayor o menor influencia (positiva o negativa) viene expresada por la cuantía de su coeficiente de regresión en la escala del eje de ordenadas. Para facilitar su explicación, los comentarios se referirán a dos periodos claramente diferenciados: el periodo de crecimiento coincidente con la fase cálida del clima y el periodo de latencia vegetativa que tiene lugar durante el periodo frío anterior a la fase de crecimiento.

3.4.1. Influencia de las precipitaciones y temperaturas durante el periodo de crecimiento

Tanto en Mosqueruela como en Bellena destaca la importancia que tienen las temperaturas altas en primavera (marzo-abril-mayo) para explicar el crecimiento secundario. Cuando son elevadas también lo es el crecimiento, dado

que su presencia incide favorablemente en el inicio de la fase de desarrollo y en consecuencia en ampliar su periodo vegetativo. Aunque se trata de un efecto común en ambas localidades, la importancia que adquieren en Mosqueruela es mucho mayor que en Bellena.

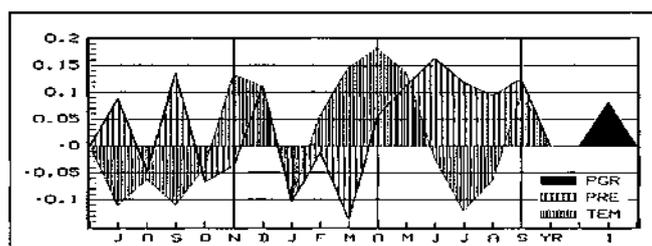


Figura 2.A. Función respuesta de *P. nigra* en Mosqueruela con observatorio de Teruel. Tem. y pre: 1947-1990. Meses: julio año anterior a septiembre en curso.
 Figure 2.A. Response function of *P. nigra* in Mosqueruela with observatory of Teruel. Tem. & Pre: 1947-1990. Months: previous july to current september.

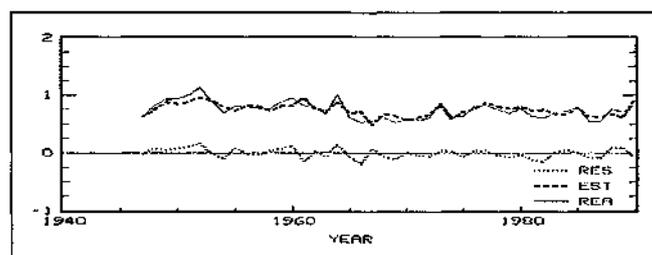


Figura 2.B. Valores reales (REA), estimados (EST) y residuales (RES) según el modelo calibrado entre los crecimientos de *P. nigra* en Mosqueruela y el observatorio de Teruel. R^2 : 0,73.
 Figure 2.B. Value real (REA), dear (EST) and residual (RES) according to the pattern gauged among the growths of *P. nigra* in Mosqueruela and the observatory of Teruel. RSQ : 0,73.

La distinta intensidad del proceso puede deberse a razones de tipo topográfico, dado que la primera localidad es un espacio mucho más abierto y frío en invierno que seguramente conforma un régimen térmico primaveral mucho más limitante, mientras que la segunda está situada en una media ladera expuesta al sur, protegida por la sierra de Javalambre de los vientos fríos norteros, factores que pueden favorecer la creación de un topoclima más suave que en la zona muestreada de Mosqueruela. A pesar de que Bellena tiene una altitud media superior, dichas condiciones topográficas pueden dar lugar a una primavera más regular todos los años, más cálida y por tanto más favorecedora del crecimiento. Dicha influencia positiva de las temperaturas

suaves en primavera coincide con los resultados obtenidos en otros estudios realizados en el sur de España, donde se señala a las primaveras tempranas como un periodo de gran influencia sobre el crecimiento de *P. nigra* (CREUS & PUIGDEFÁBREGAS, 1983).

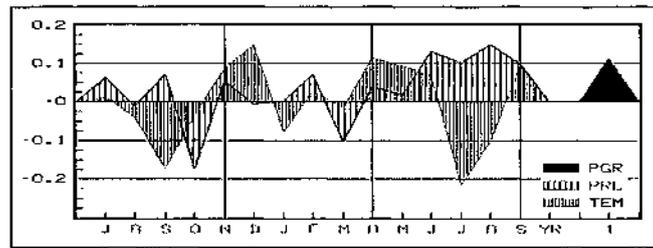


Figura 3.A. Función respuesta de *P. nigra* en Bellena con observatorio de Teruel. Tem. y pre: 1947-1990. Meses: julio año anterior a septiembre en curso.
 Figure 3.A. Response function of *P. nigra* in Bellena with observatory of Teruel. Tem. & Pre: 1947-1990. Months: previous july to current september.

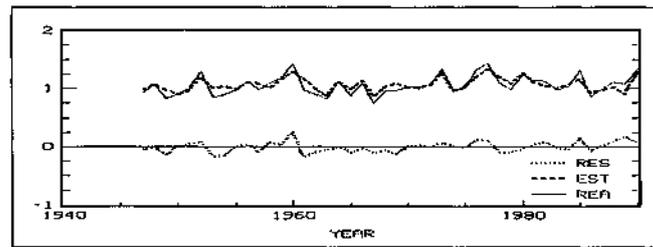


Figura 3.B. Valores reales (REA), estimados (EST) y residuales (RES) según el modelo calibrado entre los crecimientos de *P. nigra* en Bellena y el observatorio de Teruel. R^2 : 0,61.
 Figure 3.B. Value real (REA), dear (EST) and residual (RES) according to the pattern gauged among the growths of *P. nigra* in Bellena and the observatory of Teruel. RSQ : 0,61.

Esta influencia positiva del régimen térmico primaveral se invierte durante la época estival que le sigue, momento en que las temperaturas guardan una relación inversa con el desarrollo del árbol, de manera que elevados valores de aquellas suponen reducidas tasas de crecimiento. Por las mismas razones antes expuestas, es lógico deducir que la localidad de Bellena, con temperaturas más suaves en primavera, también sea más cálida en verano, hasta el punto de que el calor de esa época sea más limitante que en Mosqueruela y muestre una mayor relación inversa con el crecimiento.

En septiembre el efecto térmico vuelve a ser positivo, en la medida en que la temperatura más suave de este mes puede contribuir a prolongar el creci-

miento, incluso reactivar la actividad fotosintética en los casos en que se haya producido un parón estival y propiciar la síntesis de sustancias de reserva que estimularían el crecimiento en el periodo vegetativo siguiente. Así lo han puesto de manifiesto estudios realizados en la serranía de Cuenca (RICHTER, 1988; GÉNOVA, 1994) donde coinciden en señalar que un final de verano suave y húmedo favorece dicho comportamiento.

En ambas localidades, Mosqueruela y Bellena, la precipitación primaveral se comporta como factor negativo para el crecimiento, probablemente porque su presencia todavía signifique descensos térmicos importantes, incluso asociados a precipitaciones en forma de nieve en un momento en que se prepara la actividad cambial.

Pero a partir de abril y hasta septiembre la precipitación pasa a ser la variable con mayor influencia positiva sobre el crecimiento, de manera que su escasez durante ese periodo cálido limita en gran manera su desarrollo. A su vez, ello coincide con el momento de mayor temperatura, cuya incidencia hemos visto que es claramente negativa. La conjunción de ambas variables genera un fuerte estrés hídrico estival que actúa como factor limitante del crecimiento (GÉNOVA, 1994).

Ante situaciones de este tipo, *P. nigra* puede detener su crecimiento a través de una eficaz regulación estomática y reanudarlo cuando las condiciones vuelven a ser más favorables, acciones que forman parte de la estrategia general de la especie (AUSSENAC & VALETTE, 1982). Lo demuestran los abundantes anillos falsos que se detectan durante la fase de sincronización (entre 6 y 9 % en algunos árboles), muy superior al número de casos encontrados en los *P. sylvestris* de la sierra de Prades en el suroeste de la provincia de Tarragona, donde la mayor disponibilidad hídrica limita menos su crecimiento (GUTIÉRREZ, 1990).

3.4.2. Precipitaciones y temperaturas durante el otoño e invierno previos

Para el resto de los meses del año, la influencia del clima en el crecimiento de *P. nigra* en ambas localidades es menos importante que en los meses de actividad vegetativa, razón por la que las pautas durante el periodo frío y su influencia sobre el crecimiento son más difíciles de interpretar. Pero profundizar en este aspecto probablemente requeriría llevar a cabo mediciones dendrométricas o estudios ecofisiológicos detallados de todo el ciclo anual.

Como hecho más destacable hay que señalar la importancia que tienen las temperaturas suaves en los meses de noviembre-diciembre del año anterior (especialmente en Bellena) debido a que facilitan la prolongación de la actividad fotosintética y el consiguiente acúmulo de sustancias de reserva para el

siguiente periodo de crecimiento. De hecho, el floema puede continuar activo durante buena parte del otoño (ALFIERI & EVERT, 1968) y hasta mediados de octubre puede durar la formación de la madera tardía en altitudes de 1900 y 2000 m. en los Pirineos (CAMARERO *et al.*, 1996). De manera que a cotas inferiores donde hemos realizado los muestreos de *P. nigra* es posible que incluso se prolongue más allá de dicha fecha. Aspectos muy coincidentes con los resultados obtenidos con *P. nigra* en el Sistema Central, donde las temperaturas suaves al final del verano y durante el otoño-invierno del año anterior al crecimiento son factores muy positivos para mantener la actividad del cambium (GÉNOVA, 1994).

Por el contrario, si la suavidad térmica tiene lugar en enero la relación con el crecimiento es negativa, probablemente debido a que las temperaturas suaves faciliten un aumento de la tasa de respiración en momentos de poca disponibilidad hídrica, coincidiendo con la culminación de la sequía invernal (KOZLOWSKY *et al.*, 1991). De igual forma se comportan las lluvias de marzo al no favorecer el crecimiento, probablemente debido a que su presencia conlleva un descenso térmico que vaya asociado a una innivación todavía importante en la altitud de ambas zonas, provocando un evidente retraso en el inicio de la fase de crecimiento. Ahora bien, a partir de abril el proceso cambia de signo y las lluvias guardan una relación positiva con el crecimiento debido a que contribuyen a fundir el manto nivoso, hacen disponibles las reservas de agua y, junto con la mayor suavidad térmica, impulsan el crecimiento.

3.5. Relación entre el clima y el crecimiento de *Pinus uncinata*

En la Figura 4-A están representados los coeficientes de regresión de la función respuesta de los *P. uncinata* de la zona de Peñarroya. Al igual que con *P. nigra* también se distinguirá el comportamiento del clima entre periodo de crecimiento y periodo frío que le precede.

3.5.1. Precipitaciones y temperaturas durante el periodo de crecimiento

El hecho más destacable del conjunto de la función respuesta es el predominio de los coeficientes de regresión positivos de la precipitación durante todo el periodo cálido comprendido entre el comienzo de la primavera y el final del verano. En especial de la precipitación que tiene lugar durante los meses de junio y julio que según algunos autores coincide con el momento de la formación de la mayor parte del anillo (CAMARERO *et al.*, 1996).

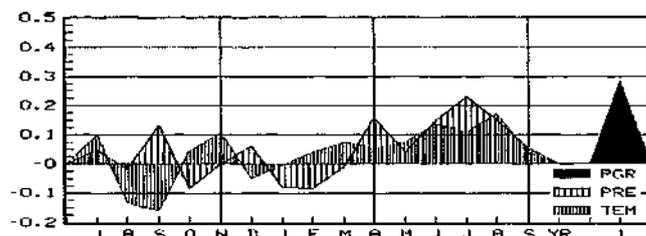


Figura 4.A. Función respuesta de *P. uncinata* en Peñarroya con observatorio de Teruel. Tem. y pre: 1947-1990. Meses: julio año anterior a septiembre en curso
 Figure 4.A. Response function of *P. uncinata* in Peñarroya with observatory of Teruel. Tem. & Pre: 1947-1990. Months: previous july to current september.

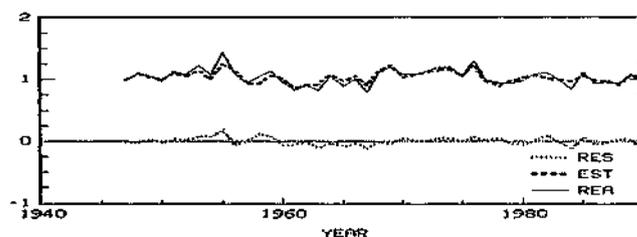


Figura 4.B. Valores reales (REA), estimados (EST) y residuales (RES) según el modelo calibrado entre los crecimientos de *P. uncinata* en Peñarroya y el observatorio de Teruel. R^2 : 0,79.
 Figure 4.B. Value real (REA), dear (EST) and residual (RES) according to the pattern gauged among the growths of *P. uncinata* in Peñarroya and the observatory of Teruel. RSQ : 0,79.

Una elevada pluviosidad en estos meses implica un importante crecimiento en grosor de *P. uncinata*. Esta prolongada influencia positiva de la precipitación durante todo el periodo de crecimiento es poco coincidente con otros trabajos sobre esta especie realizados en la cordillera Ibérica y el Pirineo, a mayor latitud y en ambientes más húmedos. En ambos lugares coincide que la limitación que impone la precipitación es menor y su crecimiento está más limitado por las temperaturas elevadas durante el verano (GUTIÉRREZ, 1991; RUIZ, 1989). Si bien es verdad que una menor dependencia del calor estival en la zona de Peñarroya no presupone que la temperatura estival no sea importante y necesaria para su crecimiento, pues así lo indican los coeficientes positivos. Sólo indica que el efecto de la precipitación es mayor. Parece evidente que un exceso de calor aumenta la tasa de transpiración a la vez que el gasto energético del árbol y, en consecuencia, una reducción del crecimiento (RUIZ, 1989). Si además la suavidad térmica se amplía a la primavera y el otoño, el efecto favorable sobre el crecimiento radial es muy notorio (ROLLAND & FLORENCE SCHUELLER, 1994).

Esta mayor dependencia de la humedad estival en el límite sur de su distribución, donde las lluvias ya son escasas y la sequía estival muy importante, contrasta con las menores limitaciones debidas a la humedad en aquellas poblaciones situadas más al norte y a occidente donde la precipitación supera los 1500 mm/año en algunas zonas del Pirineo navarro donde vive. Así lo indican los resultados obtenidos en Larra (Navarra) donde el único factor hídrico limitante es la precipitación de junio (CREUS & PUIGDEFÁBREGAS, 1976), en el Pirineo oscense vive en ambientes con veranos sólo moderadamente secos (GIL, 1993), mientras que en Aigualluts (Pirineo oscense oriental) su desarrollo tiene gran dependencia de las lluvias en mayo y junio (RUIZ, 1989), y en el Pirineo de Lérida y Gerona su relación positiva con la precipitación se amplía a gran parte de los meses estivales y otoñales (GÉNOVA, 1987). Todo ello marca un gradiente de mayor dependencia de la precipitación estival conforme disminuye la humedad hacia el Pirineo oriental, y hacia al sur como se observa en la zona turolense.

Por consiguiente, en la zona de Peñarroya los años en que las lluvias estivales son importantes también lo son los crecimientos, siempre que, además, vayan acompañadas de temperaturas relativamente cálidas, marcando una importante diferencia con *P. nigra* que está menos limitado por la falta de humedad estival debido a su mejor adaptación al estrés hídrico propio de esa época, según hemos visto en los apartados anteriores.

3.5.2. Precipitaciones y temperaturas durante el otoño e invierno previos

Durante el periodo frío anterior al crecimiento las variables climáticas apenas muestran relación con los crecimientos que tienen lugar en los meses siguientes. Los coeficientes de la regresión son muy pequeños en todos los casos y reflejan la escasa importancia del clima en esta fase dominada por el rigor térmico propio de la cota 2000 m.

Como efecto acumulado del clima del año anterior al crecimiento destacan las temperaturas de agosto-septiembre como variables con influencia negativa sobre el crecimiento del año siguiente. Cabe pensar que un excesivo calor en esta época puede favorecer más la respiración que la fotosíntesis y así reducir la reserva de nutrientes para el año siguiente (RUIZ, 1989). Por el contrario, cabe destacar el efecto positivo de las temperaturas elevadas en octubre-noviembre del año anterior pues favorecen la continuidad del proceso fotosintético y la consiguiente acumulación de nutrientes que podrán ser utilizados en el año siguiente (CAMARERO *et al.*, 1996).

Otros estudios sobre *P. uncinata* (GÉNOVA, 1986) concluyen que la temperatura de noviembre del año anterior puede ser la variable más significati-

va para el crecimiento. Sin embargo, en nuestro caso, ya se ha indicado que la máxima influencia térmica positiva corresponde a las temperaturas estivales, precedidas de las de marzo-abril que preparan la actividad cambial.

Por último, dentro de ese periodo frío anterior destaca el efecto limitante de las precipitaciones de enero y febrero, quizá por su relación con el descenso térmico que conllevan y la consiguiente formación de un manto nivoso que en dicha cota (2019 m) es importante.

4. Conclusiones

La función respuesta, a pesar de las limitaciones atribuibles, permite conocer las relaciones estadísticas entre el clima y el crecimiento anual, entendidas como una forma de identificar qué variables climáticas y en qué momentos influyen más en su desarrollo. Evidentemente, la opción fenológica supone tener un mayor detalle en el desglose temporal de los valores climáticos condicionantes del crecimiento (normalmente decenales o quincenales) pero adolece de estar referida a lo acontecido durante los pocos años concretos en que se tomaron las medidas (1,2,3... años), mientras que la función respuesta aporta una mayor solidez de resultados en cuanto que basa el análisis estadístico en un periodo de tiempo superior a 40 años. También es verdad que determinadas funciones son difíciles de interpretar puesto que los valores climáticos utilizados como predictores a veces no muestran una relación muy clara con el crecimiento, al menos a la escala elegida como periodo de interpretación (normalmente la mensual). En estos casos, las observaciones fenológicas son de gran importancia para profundizar en la dinámica intraanual del anillo, pues son estudios a escalas temporales cortas, en intervalos de mayor detalle, que pueden perfectamente combinarse con los de escala temporal larga como la función respuesta, y ambas avanzar en la interpretación de las complejas relaciones existentes entre el árbol y el clima de su entorno.

La sensibilidad media de las tres cronologías (dos de *P. nigra* y una de *P. uncinata*) es sensiblemente mayor a la que muestran estas mismas especies en otras zonas de la península Ibérica. Comparando los datos obtenidos en la zona turolense con los de otras poblaciones situadas a mayor latitud y más a occidente (cordilleras Ibérica septentrional y Pirineos) podemos concluir que la sensibilidad de *P. uncinata* marca un gradiente de aumento hacia el sur y este peninsular. Ello permite plantear la hipótesis de que tal sensibilidad puede estar relacionada con la disminución de la precipitación que, desde la zona pirenaica occidental, marca un gradiente de reducción

de su cuantía y aumento de la irregularidad en este mismo sentido. En consecuencia, las precipitaciones de la fase cálida actúan como el factor más limitante del crecimiento, de manera que la citada variabilidad y menor cuantía quedaría reflejada en una elevada variación intraanual del crecimiento.

Por esta misma razón, la menor sensibilidad observada en las localidades pirenaicas e ibéricas podría indicar que sus crecimientos tienen una mayor dependencia global del factor térmico, siempre mucho más regular que el pluviométrico. Aspecto ya observado en los trabajos aquí citados sobre esta especie en el Norte de España.

Las funciones respuesta calculadas indican que el crecimiento de *P. nigra* en la dos zonas estudiadas de la provincia de Teruel está muy influido por la presencia de temperaturas suaves en primavera seguidas de veranos húmedos. Por el contrario, las temperaturas elevadas de julio y agosto actúan negativamente sobre el crecimiento, lo mismo que el descenso de la precipitación en esa época. Ambas variables, al actuar conjuntamente, generan un fuerte estrés hídrico que limita su desarrollo, hasta el punto de ralentizar, incluso parar, el crecimiento si dichas variables se imponen con rigor.

En la zona de Bellena el calor estival todavía es más limitante que en Mosqueruela según se desprende de la mayor intensidad negativa que esta variable muestra en la función respuesta. La topografía más cerrada y la exposición más al sur que concurren en esta localidad pueden explicar tal proceso.

En ambas localidades destaca el efecto positivo de las lluvias y las temperaturas benignas finio-otoñales en la continuidad del periodo vegetativo, cuya consecuencia inmediata es una acumulación de nutrientes favorecida por la prolongación de la actividad fotosintética.

Respecto a la población de *P. uncinata* de Peñarroya, que en esta zona marca el límite meridional de la especie, el crecimiento está muy condicionado por la presencia de precipitaciones desde la primavera hasta final del verano, alcanzando un máximo de influencia positiva en los meses de junio-julio-agosto cuando su normal reducción es responsable de las tasas de crecimiento pequeñas. De manera que son las primaveras lluviosas y los veranos húmedos los que favorecen los fuertes crecimientos. Tal comportamiento también marca, al igual que ocurría con la sensibilidad media, un gradiente de mayor dependencia de la precipitación conforme ésta disminuye hacia el sur.

Agradecimientos. Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto CLI96-1862 (Precipitaciones y temperaturas de la mitad septentrional española a partir del siglo XVII. Reconstrucciones dendroclimáticas) financiado por la CICYT del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Referencias

- ALFIERI, F. & EVERT, J. (1968) Seasonal development in *Pinus*. *An. Jour. Bot.*, 55: 518-528.
- ALLUÉ ANDRADE, J. L. (1990) *Atlas fitoclimático de España*. Monografías INIA, nº 60. Madrid. 221 p.
- ANIOL, R. (1983) Tree-ring analysis using Catras. *Dendrochronology*, 1: 45-53.
- AUSSENAC, G. & VALETTE, J. (1982) Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le Mount Ventoux. *Ann. Sci. Forest*, 39 (1) : 41-62.
- BLANCO, E.; CASADO, M.; COSTA, M.; ESCRIBANO, F.; GARCÍA, M.; GÉNOVA, M.; GÓMEZ, A.; GÓMEZ, F.; MORENO, J.; MORLA, C.; REGATO, P. & SAINZ, H. (1996) *Los bosques ibéricos*. Ed. Planeta, Barcelona. 572 p.
- BRIFFA, K. & JONES, P. (1990) Basic chronology statistics and Assesment. In COOK, E. & KAIRIUKSTIS, L. (eds.) *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*: 137-152. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- CAMARERO, J.; GUERRERO, J. & GUTIÉRREZ, E. (1996) Fenología del anillo de crecimiento de *Pinus uncinata* Ramond y *Pinus sylvestris* L. en un gradiente altitudinal en los Pirineos Centrales. *Pirineos*, 147-148: 3-26.
- COOK, E. (1985) *Time series analysis approach to tree-ring standardization*. Unpublished Ph. D. Dissertation. University of Arizona, Tucson. USA. 68 p.
- COOK, E. & KAIRIUKSTIS, L. (1990) *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 393 p.
- CREBER, G. & CHALONER, W. (1984) Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. *Bot. Rev.* 50(4): 357-448.
- CREUS, J. & BEORLEGUI, M. (1996) La multicolinealidad de los datos climáticos. La regresión en componentes principales. In: *Modelos y Sistemas de Información Geográfica*: 38-47. Universidad del País Vasco. Vitoria, 458 p.
- CREUS, J.; FERNÁNDEZ, A. & MANRIQUE, E. (1997) Dendroclimatología y clima del último milenio en España. Aspectos metodológicos y avance de resultados. In IBÁÑEZ, J., VALERO, B. & MACHADO, C. (eds.) *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo*. Ed. Geoforma, Logroño. 478 p.
- CREUS, J. & PUIGDEFÁBREGAS, J. (1976) Climatología histórica y dendroclimatología de *Pinus uncinata* Ram. *Cuadernos de Investigación*, 2(2), 17-30.
- CREUS, J. & PUIGDEFÁBREGAS, J. (1983) Climatología histórica y dendroclimatología de *Pinus nigra* Arnold. *Avances sobre la investigación en Bioclimatología*: 121-128. CSIC, Zaragoza.
- FRITTS, H. (1976) *Tree ring and climate*. Academic Press, London. 567 p.
- GÉNOVA, M. (1994) *Dendroecología de Pinus nigra Arnold subsp. salzmannii (Dunal) Franco y Pinus sylvestris L. en el Sistema Central y en la Serranía de Cuenca*. Tesis doctoral inédita. Universidad Autónoma de Madrid, 352 p.

- GÉNOVA, R. (1986) Dendroclimatology of mountain pine (*Pinus uncinata* Ram.) in the central plain of Spain. *Tree-Ring Bulletin*, 46: 3-12.
- GÉNOVA, R. (1987) Análisis y significado de los anillos de crecimiento de dos especies forestales: *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* en la Península Ibérica. Tesis Doctoral. Univ. Barcelona, 491 p.
- GIL, E. (1993) Estudios ecofisiológicos sobre *Pinus uncinata* Mill. en el límite superior de la especie, 231 p. Tesis Doctoral inédita, Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias.
- GUIOT, J. (1990) Methods of calibration. In COOK, E. & KAIRIUKSTIS, L. (eds.) *Methods of dendrocronology. Applications in the environmental sciences*: 165-177, Kluwer Academic Publishers. Dordrech.
- GUIOT, J. (1991) The bootstrapped response function. *Tree-Ring Bulletin*, 51: 39-41.
- GUTIÉRREZ, E. (1990) Dendroecología de *Pinus sylvestris* L. en Cataluña. *Orsis*, 5: 23-41.
- GUTIÉRREZ, E. (1991) Climate tree-growth relationships for *Pinus uncinata* Ram. in the Spanish pre-Pyrenees. *Acta Oecologica*, 12: 213-225.
- KOZLOWSKI, T.; KRAMER, P. & PALLARDY, S. (1991) *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press, San Diego, 657 p.
- LARSON, P. (1994) *The vascular cambium. Development and structure*. Springer-Verlag, 725 p. Berlín-New York.
- PEÑA, J.; CUADRAT, J. & SÁNCHEZ, M. (2002) *El clima de la provincia de Teruel*. Cartillas Turolenses, 20. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, 89 p.
- RICHTER, K. (1986) Estudio dendrocronológico en España. *Dendrochronologia*, 4: 59-74.
- RICHTER, K. (1986a) Dendrocronología aplicada a la provincia de Teruel. Primer avance 1985/86. *Kalathos*, 5-6: 199-210.
- RICHTER, K. (1988) *Dendrochronologische und Dendroklimatologische Untersuchungen an Keifern (Pinus sp.) in Spanien*. Fachbe Reichsbiologie der Universität Hamburg. 298 p. (tesis doctoral inédita).
- RICHTER, K. & ECKSTEIN, D. (1991) The dendrocronological signal of pine trees (*Pinus* spp.) in Spain. *Tree-Ring Bulletin*, 51: 1-13.
- ROLLAND, C. & FLORENCE SCHUELLER, J. (1994) Relationships between mountain pine and climate in the french Pyrenees (Font Romeu) studied using the radiodensitometrical method. *Pirineos*, 143-144: 55-70.
- RUIZ, P. (1988) Dendroclimatic series of *Pinus uncinata* Ram. in the Central Pyrenees and in the Iberian system, Spain. A comparative study. *Pirineos*, 132: 49-64.
- RUIZ, P. (1989) *Contribución dendroclimática a la ecología de Pinus uncinata Ramond (Pirineo central y sierra Cebollera)*. Memoria de Licenciatura inédita, Universidad de Zaragoza, 154 p.

- SCHWEINGRUBER, F. (1988) *Tree-rings: Basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrech, 188 p.
- SERRE, F. (1976) Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). I. Méthodes utilisées. L'activité cambiale et le climat. *Oecol. Plant.*, 11(2) : 143-171.
- SERRE, F. (1982) The mediterranean area. In: *Climate from the rings. Second international workshop on global dendroclimatology*: 153-155. Norwich, 1980, Cambridge University Press.
- SERRE, F. & TESSIER, L. (1990) Response function analysis for ecological study. In COOK, E. & KAIRIUKSTIS, L. (eds.) *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*: 247-258. Kluwer Academic Publishers, Dordrech, 393 p.
- ZHANG, Q.; HEBDA, R.; ZHANG, Q. J. & ALFARO, R. (2000) Modeling tree-ring growth responses to climatic variables using artificial neural networks. *Forest Science*, 46: 229-239.