

LA SEQUÍA COMO PRINCIPAL FACTOR LIMITANTE DEL DESARROLLO DE *PINUS HALEPENSIS* MILL. EN EL SECTOR CENTRAL DEL VALLE DEL EBRO

José CREUS NOVAU* y Miguel A. SAZ SÁNCHEZ**

* *Instituto Pirenaico de Ecología, C.S.I.C.*

** *Departamento de Geografía, Universidad de Zaragoza*

RESUMEN

En este trabajo se analiza la influencia del clima sobre el crecimiento secundario de *Pinus halepensis* Mill. en tres zonas de la provincia de Zaragoza (España): Bardenas-Ejea; Sierra de Alcubierre y La Socarrada-Chiprana. Los resultados señalan la influencia positiva de la precipitación del verano, mientras que el excesivo calor de ese periodo inhibe su desarrollo.

Palabras clave: Dendroecología, *Pinus halepensis*, anillos de crecimiento, función respuesta.

ABSTRACT

In this paper we analyze the relationships between climate and the secondary growth of Pinus halepensis Mill in three areas of the Zaragoza province (Spain): Bardenas-Ejea, Alcubierre range and La Socarrada-Chiprana. The growth is influenced by the positive effect of the precipitations of the warm season, while the excessive heat of this same period as unfavourable factor and may inhibit its development.

Key words: *Dendroecology, Pinus halepensis, tree-rings, response function.*

1. INTRODUCCIÓN

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) pertenece a un grupo de pinos de los que se han descrito varias especies, pero actualmente sólo dos son consideradas como verdaderas por la mayoría de los sistemáticos: *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus brutia* Ten. (QUEZEL y BARBERO, 1992). Raramente supera los 250 años (SAFAR *et al.*, 1992) y su porte es mediano, pero en condiciones favorables puede alcanzar los 20-25 m (CEBALLOS, 1971).

De forma espontánea se extiende por todas las regiones circunmediterráneas, desde España hasta Próximo Oriente y desde el sur de Europa hasta las montañas de Marruecos, ocupando más de 3,5 millones de hectáreas (QUEZEL, 1980). En España vive fundamentalmente en la vertiente mediterránea, incluyendo casi la totalidad de la cuenca del Ebro y las cabeceras de las cuencas de los ríos Duero, Tajo, Guadiana y Guadalquivir, si bien actualmente, y por repoblación, se extiende hasta las zonas centrales de esas mismas cuencas. Es a mediados del siglo XX cuando conoce una gran expansión debido a la acción del hombre, que repobló grandes extensiones de antiguas tierras de cultivo abandonadas o deforestadas por talas y por los frecuentes fuegos que afectan a las zonas mediterráneas. Estos últimos han contribuido de forma notable a su progresión debido a sus adaptaciones, que le permiten regenerarse rápidamente después de un incendio. Tal es el caso de la resistencia al fuego de sus piñas, capaces de soportar temperaturas de 130°C y superar con éxito los efectos del fuego. El calor las hace explotar y diseminar gracias al desplazamiento turbulento

de las masas de aire recalentadas por el fuego, que a su vez suprime por un tiempo la vegetación que podría ocasionarles competencias para germinar (ACHERAR, 1981). Su capacidad expansionista, unida a elevada tasa de germinación y variedad de ambientes que es capaz de colonizar, le convierten en una de las especies mediterráneas con mayor amplitud ecológica (BARBERO *et al.*, 1990), capaz de vivir en zonas litorales y a más de 2.000 m de altitud (en las montañas centrales de Marruecos) con amplitudes de precipitación entre 250 y 1.500 mm anuales (QUEZEL y BARBERO, 1992).

Por este motivo, se considera que la precipitación no es un factor determinante de su distribución, como tampoco lo es el tipo de sustrato, ya que se le puede encontrar sobre margas, areniscas, yesos, calizas, esquistos, etc (LOISEL, 1976). Sin embargo, a pesar de su excelente adaptación a la sequía, su exigencia de humedad tiene umbrales por debajo de los cuales el árbol no se desarrolla con normalidad, quedando con un porte achaparrado e incluso pereciendo en los años más secos (BORGUETTI *et al.*, 1998).

En este contexto de elevado déficit hídrico hay que situar las poblaciones de *P. halepensis* Mill. del sector central del Valle del Ebro, donde las precipitaciones anuales apenas alcanzan los 300 mm y quedan entre 15-25 mm/mes durante el verano. Ello genera una acusada aridez que repercute en el desarrollo de los seres vivos en general y, por supuesto, sobre las formaciones de *P. halepensis*, cuyas posibilidades de desarrollo pasan por su adaptación a ese medio tan difícil. En este trabajo se aportan los resultados del estudio de tres poblaciones situadas en el centro del valle, en el que se analiza su crecimiento secundario y la influencia que sobre él ejercen la precipitación y temperatura.

2. ZONAS DE ESTUDIO

En la figura 1 se muestra la situación de los tres puntos elegidos para su estudio en el sector central del valle del Ebro, marcando un transecto de NW a SE a lo largo de unos 140 km entre la zona de Bardenas-Ejea (420 m de altitud) y de La Socarrada-Chiprana (260 m).



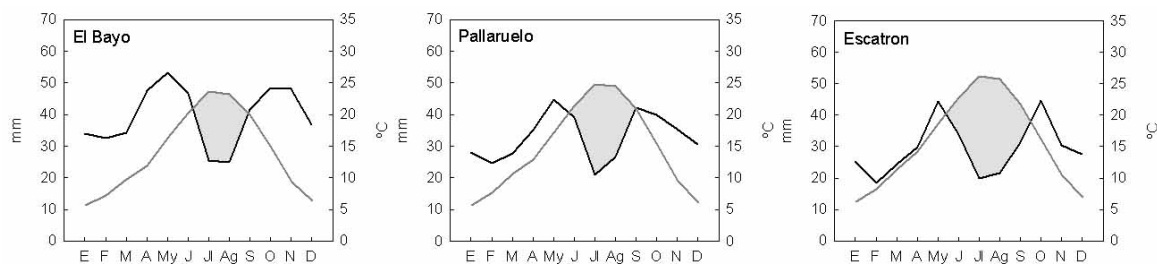
Fig. 1. Localización de las poblaciones de *P. halepensis* estudiadas (círculos negros) y de los observatorios utilizados para calcular la relación crecimiento-clima (cuadrados)

En la zona de Bardenas-Ejea se muestreo en uno de los pronunciados taludes, a unos 350 m de altitud, formados por margas continentales y algún estrato calizo que enlazan los niveles altos de la Bardena Negra navarra con los depósitos aluviales de la base. Su elevada pendiente (superior a 45°) convierte a esta zona en un lugar adecuado para realizar este tipo de estudio, dado el escaso suelo presente (margo-yesoso) y la rápida escorrentía de la precipitación. Con estas características, la dependencia del clima de los *P. halepensis* parece evidente. En la zona de La Socarrada-Chiprana (250 m de altura) el relieve es mucho más suave, formado por arcillas continentales que alternan con bancos de areniscas restos de antiguos paleocanales terciarios. Donde predominan las primeras, abundan los campos de cultivo, mientras que sobre las segundas se han desarrollado pequeños bosques de *P. halepensis* que progresan con gran dificultad. Entre ambas localidades y casi equidistante, está la sierra de Alcubierre cuya cota máxima es 812 m. Constituye la única altitud destacable del sector central del valle, donde la horizontalidad del relieve es el rasgo más característico. Los muestreos se realizaron entre los 650 y 700 m de altitud, en las lomas de su vertiente sur de fuerte pendiente, escaso suelo y gran erosión, donde los *P. halepensis* aparentaban mayor edad.

En los tres casos, las especies más frecuentes asociadas al pinar de carrasco son *Rhamnus lycioides*, *Quercus coccifera*, *Thymus vulgaris*, *Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis*, etc., pertenecientes al dominio *Rhamno-cocciferetum pistacietoru*.

2.1. Caracteres del medio físico

Los ombrotermogramas y la tabla de datos de los tres observatorios próximos a las zonas estudiadas (Fig. 2) ejemplifican la escasez de precipitación característica de la zona. A su vez, como disminuye de NW (El Bayo) hacia el SE (Escatrón) conforme nos alejamos del sector noroccidental, hasta donde suelen llegar con mayor facilidad las borrascas de origen atlántico, y nos adentramos al centro de la depresión del Ebro de características semiáridas.



	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	año
El Bayo-t	5,6	7,2	9,7	11,9	16,2	20,3	23,7	23,2	20,0	15,0	9,3	6,3	14,0
El Bayo-p	33,9	32,5	34,2	47,7	53,2	46,6	25,5	24,8	41,5	48,3	48,1	36,8	473,0
Pallaruelo-t	5,7	7,7	10,6	12,9	17,1	21,3	24,8	24,5	20,9	15,4	9,5	6,1	14,7
Pallaruelo-p	28,0	24,6	27,8	35,2	44,8	39,1	20,9	26,5	42,1	40,0	35,5	30,6	395,0
Escatrón-t	6,3	8,2	11,4	14,2	18,6	22,7	26,1	25,7	21,8	16,2	10,3	7,0	15,7
Escatrón-p	25,3	18,3	24,5	29,7	44,4	33,8	19,9	21,5	31,3	44,5	30,5	27,6	351,4

Fig. 2. Valores medios mensuales y anuales de temperatura (t) y precipitación (p) de los observatorios meteorológicos utilizados para calcular la relación entre el clima y el crecimiento de *P. halepensis* Mill.

Su régimen mensual es claramente equinoccial y las sequías son prolongadas, habiéndose registrado secuencias de hasta 80 días sin precipitación, lo que supone la existencia de sequías edáficas de mucha mayor duración (CREUS, 2001). El déficit hídrico alcanza los 400 mm anuales y aunque tenga lugar fundamentalmente en verano también la primavera y el otoño tienen balance negativo (CREUS y FERRAZ, 2000). A ello contribuye la elevada insolación (superior a las 2.300 horas anuales), calor estival (temperaturas máximas superiores a los 40°C) y frecuencia de viento del NW llamado Cierzo (el 20% de las veces supera los 45 km/hora y el 3% sobrepasa los 100 km/hora), que activa la evaporación de las escasas lluvias. Según la clasificación de ALLUÉ (1990), este sector tiene un clima tipo Nemoromediterráneo en la zona de NW (El Bayo), donde la precipitación es ligeramente mayor y tipo Subárido en la zona SE al ser una de las zonas más secas del Valle.

3. SELECCIÓN Y ESTUDIO DE LAS MUESTRAS

Con el fin de encontrar los árboles más sensibles al clima, se eligieron aquellos situados en zonas con menor suelo y por tanto más dependientes de las condiciones climáticas, además de que tuvieran una edad mínima de 60-70 años que permitiera desechar los 15-20 primeros años de crecimiento y preservar los 50 finales con los que construir la cronología de cada uno de los tres lugares. Eliminando los primeros decenios de vida del árbol se simplifica la fase de estandarización, al no tener que ajustar una función matemática a esos primeros años caracterizados por una gran variabilidad en el crecimiento.

Se eligieron entre 8 y 12 árboles en cada localidad, a los que se extrajo una o dos muestras con barrena *Pressler*. Después de su secado, se midió el grosor de cada anillo (medidor Aniol) con precisión 0,01 mm. A las series de datos se aplicó la metodología más común para estos casos, expuesta en la amplia bibliografía existente (COOK y KAIRIUKSTIS, 1990). Se sincronizaron con el programa Cofecha y se recortaron a un periodo común, distinto en cada cronología, para eliminar los primeros años. Posteriormente se estandarizaron con el programa Arstan, aplicando funciones *spline* con filtros de distinta potencia (en general con un 50% de frecuencia de corte) en función de la concordancia común de la variabilidad. De esta forma se eliminaron las tendencias a medio y largo plazo, relacionadas entre otras con la edad del árbol, y conservándose las variaciones interanuales más relacionadas con el clima.

3.1. Estadísticos de las cronologías

La tabla 1 resume los valores que definen las cronologías, indicadores de su calidad y representatividad, además del número de muestras incluidas. Uno de los índices es la Sensibilidad Media (SM), que mide la variabilidad interanual de cada muestra y, en definitiva, su teórica capacidad de aportar información. En la tabla se observa que dicho valor aumenta de NW a SE, conforme disminuye la precipitación (según hemos visto), indicando que el crecimiento se vuelve más dependiente de las variaciones de humedad. Sus valores son muy próximos a 0,37, valor obtenido con *P. halepensis* en el SE de Francia (SERRE, 1976), pero muy superiores a los que aportan otros trabajos más recientes (RATHGEBER *et al.*, 2000).

La elevada correlación entre árboles de una misma localidad indicaría la ausencia de perturbaciones extrañas en su crecimiento y que su variabilidad obedece a factores que inciden por

igual sobre ellos (COOK y KAIRIUKSTIS, 1990). Este aspecto viene corroborado por los resultados de los tres análisis en componentes principales realizados con las muestras de cada localidad, de manera que la elevada varianza que explica el primer componente (entre el 62,7 y 76,1%) confirma la existencia de un factor de gran incidencia sobre el crecimiento.

Otros dos parámetros que se deben considerar respecto de la calidad de las cronologías son la tasa Señal/Ruido y la Concordancia Poblacional. La primera va referida a la cantidad de información climática contenida en cada cronología y en qué medida el crecimiento radial ha estado influido por el clima. Es un parámetro que varía en relación al número de muestras utilizadas en cada localidad, pero se considera que valores superiores a 5 son suficientes para validar una cronología (COOK y KAIRIUKSTIS, 1990). En nuestro caso ha sido superado en las tres localidades.

Tabla 1. Estadísticos de las cronologías estándar de cada localidad

Localidad	Ejea - Bardenas	S. Alcubierre	La Socarrada-Chiprana
Especie	<i>P. halepensis</i> Mill.	<i>P. halepensis</i> Mill.	<i>P. halepensis</i> Mill.
Número de árboles	9	8	9
Edad máxima	121 años	83 años	95 años
Periodo de la cronología	1883-2003	1939-2002	1933-2003
Crecimiento medio anual	1,62 mm	1,59 mm	1,85 mm
Desviación estándar	0,20	0,24	0,20
Sensibilidad media	0,25	0,37	0,41
Correlación entre árboles	0,68	0,71	0,43
Varianza 1 ^{er} componente	71,80	76,10	62,70
Tasa señal / ruido	19,20	16,50	7,40
Concordancia poblacional	0,95	0,94	0,85

Finalmente está la Concordancia Poblacional, como expresión de la representatividad del muestreo respecto del conjunto de la población muestreada, es decir, de la información que se obtendría con un número de muestras que aportaran un máximo de señal común. Se acepta que una incertidumbre del 15-20% es muy aceptable (COOK y KAIRIUKSTIS, 1990), lo que equivale a una certidumbre superior al 80% que se cumple en los tres casos.

3.2. Sincronización entre localidades

Las pequeñas diferencias climáticas comentadas en el apartado 2.1, en modo alguno son suficientemente importantes como para crear distintos modelos de crecimiento según el clima. En la figura 3 están representados los valores del índice de crecimiento de las tres cronologías. Aunque su valor absoluto no sea el mismo en cada lugar para un mismo año, sí se observa que las variaciones interanuales siguen las mismas pautas, de tal manera que el año, o grupos de años, con valor superior a 100 (crecimientos grandes) se repiten en el tiempo en las tres cronologías. Y lo mismo ocurre con los valores inferiores a 100 (crecimientos pequeños) que también reflejan una gran sincronía en las tres zonas. Tal impresión visual queda corroborada por el valor de correlación de *Pearson* que tienen entre sí (Tabla 2) y que supera ampliamente el nivel de probabilidad $\alpha=0,01$.

Tabla 2. Valores de correlación de Pearson entre cronologías (n= 64, $\alpha = 0,01$)

	Ejea-Bardenas	Sierra Alcubierre
Sierra Alcubierre	0,59	
La Socarrada-Chiprana	0,66	0,68

Una interpretación bioclimática de esta elevada sincronización espacial de las cronologías de *P. halepensis*, permite intuir la existencia de determinados acontecimientos climáticos, de gran importancia para el crecimiento anual de esta especie, que inciden de igual forma e intensidad en todo el espacio considerado, ya sea como factor positivo que favorece el crecimiento o como factor negativo inhibitor del mismo. En este sentido la homogeneidad climática de la zona, respecto de las exigencias de esta especie, parece clara.

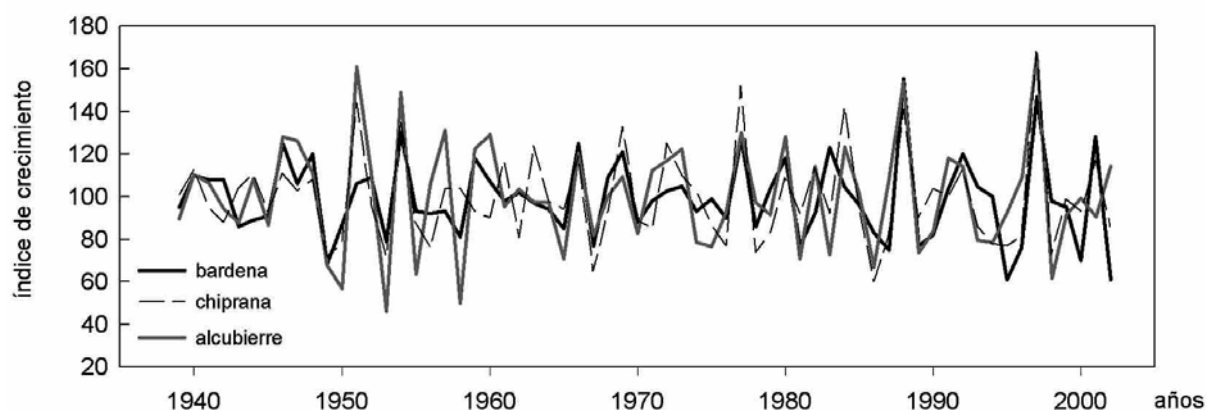


Fig. 3. Variación temporal de los índices de las tres cronologías. Sincronización

La sincronización existente a lo largo de estos 140 km, entre la localidad de Ejea-Bardenas y La Socarrada-Chiprana, no tiene porque representar la máxima posible de esta especie en el valle del Ebro, dado que podría ser mucho mayor si también lo fuera el espacio estudiado. En otros trabajos realizados en España se ha observado que dicha señal macroclimática se mantiene más allá de los 350 km (GÉNOVA, 1987), si bien utilizando especies distintas a *P. halepensis*. En el apartado 4.1 se indica cuáles son estas variables, uniformes en el espacio, que de modo importante favorecen o limitan el crecimiento en el espacio considerado.

4. LA FUNCIÓN RESPUESTA

La función respuesta es un modelo matemático que expresa la relación entre el crecimiento radial de los árboles y el clima, tomando como muestra un periodo mínimo de 40 años. Su formulación estadística evoluciona conforme lo hace la concepción del proceso biológico que se trata de modelizar y permita obtener mejores calibraciones. Uno de los métodos más utilizados son las regresiones en componentes principales, que tratan de eliminar la colinealidad de las variables independientes por medio de un modelo de relaciones lineales (CREUS y BEORLEGUI, 1996).

Desde hace unos años se buscan otras soluciones capaces de resolver complejos modelos no lineales que no requieran un conocimiento previo del tipo de problema que se quiere calibrar. Entre los métodos más recientes están los modelos de redes neuronales, basados en sucesivas capas de información sobre las que actúan un gran número de operadores muy interconectados (CARRER y URBINATI, 2001). Su aplicación en dendroecología todavía plantea algunos problemas sobre los que no existe unanimidad de interpretación, por lo que hemos optado por utilizar la regresión en componentes principales que sí aporta buenos resultados cuando la calibración se apoya en un largo periodo de años, se realiza un número importante de iteraciones y existen variables climáticas muy condicionantes del crecimiento.

En este método se utilizan como regresores del crecimiento un número reducido de componentes, ortogonales y por definición independientes entre sí, obtenidos de los datos meteorológicos. Mediante técnicas *bootstrap* se eligen distintos intervalos para el periodo de calibración (1952-2000) y se realiza una inmediata verificación. En las tres localidades se hizo un número de iteraciones suficiente hasta alcanzar la estabilidad de la varianza.

Como regresores de crecimiento de cada año se han utilizado 31 variables: 15 corresponden a las precipitaciones mensuales desde junio del año anterior hasta septiembre del año en curso, otras 15 a las temperaturas medias mensuales para ese mismo periodo, además de incluirse el crecimiento del año anterior, con el fin de recoger la inercia que tiene el crecimiento y que puede manifestarse en el siguiente y más años sucesivos. Como variables dependientes se han utilizado las cronologías estándar, por mostrar mejor las variaciones de alta frecuencia que pueden estar relacionadas con factores climáticos.

En la tabla 3 se indica el observatorio meteorológico con que se han calibrado las relaciones entre el crecimiento anual y el clima, junto con el porcentaje de varianza del crecimiento explicado por el modelo, por el clima y por el crecimiento del año anterior. Con el programa Precon se han calculado las tres funciones respuesta de la figura 4, donde se muestra la importancia de cada variable (coeficientes) y el sentido de la relación (positiva o negativa).

Tabla 3. Varianza del crecimiento anual explicada por cada función respuesta (R^2 total), por el clima (R^2 clima) y el crecimiento del año anterior (R^2 t-1)

Localidad	Observatorio para la calibración	R^2 total	R^2 clima	R^2 t-1
Ejea-Bardenas	El Bayo	0,81 ($\alpha = 0,05$)	0,63	0,18
Sierra Alcubierre	Pallaruelo Monegros	0,75 ($\alpha = 0,05$)	0,55	0,20
La Socar.-Chiprana	Escatrón	0,75 ($\alpha = 0,05$)	0,54	0,21

Las poblaciones de *P. halepensis* de la zona de Ejea-Bardenas parecen ser más sensibles al clima que las de las otras dos zonas estudiadas, ya que explica casi el 63% de la variabilidad interanual del crecimiento. Junto con el efecto del año anterior alcanzan el 81%, equivalente a una r de Pearson de casi 0,9 para un periodo de calibración de 48 años. En las otras dos localidades, la función respuesta explica una variabilidad ligeramente menor, pero en cualquier caso suficientemente elevada como para considerar al clima como el factor que ejerce mayor influencia sobre el crecimiento anual de los *P. halepensis* en las zonas estudiadas (75%).

4.1. Su interpretación

Las tres funciones respuesta de la figura 4 muestran la importancia que tienen las condiciones climática estival para el desarrollo de esta especie. En todas destaca la precipitación de julio, agosto y septiembre por su directa relación con el crecimiento, especialmente la de agosto que alcanza significación estadística ($\alpha = 0,05$). Parece evidente que la lluvia estival es la variable climática que más favorece su desarrollo, en la medida en que en los años con veranos húmedos el crecimiento esperado es mayor. Por el contrario, la temperatura actúa como factor inhibitor al guardar una relación inversa con el crecimiento, especialmente la de agosto en la localidad de La Socarrada-Chiprana ($\alpha = 0,05$) donde llega a ser tan condicionante como la precipitación, aunque en sentido inverso. Ello puede deberse a que en esta zona se registran temperaturas medias estivales 2-3°C superiores a las de las otras dos localidades, quizá suficientes para aumentar el estrés hídrico que puede alcanzar umbrales críticos en el momento en que la precipitación es mínima.

En las tres localidades, la precipitación y la temperatura estival tienen influencias contrapuestas, como indica el signo de los coeficientes, pero su cuantía evidencia un mayor impacto de la precipitación. Su ausencia es capaz de paralizar la actividad cambial y *P. halepensis* debe controlar las pérdidas hídricas cerrando sus estomas y adaptando su metabolismo para resistir la sequía (BORGHETT *et al.*, 1998). Si las lluvias reaparecen, aunque sea a principios de otoño, se reinicia el crecimiento y se generan anillos falsos, tan característicos de esta especie que algunos autores califican como policíclica (SERRE, 1973). En estas condiciones el crecimiento radial se reactiva y persiste de forma significativa (NICAULT, 1999).

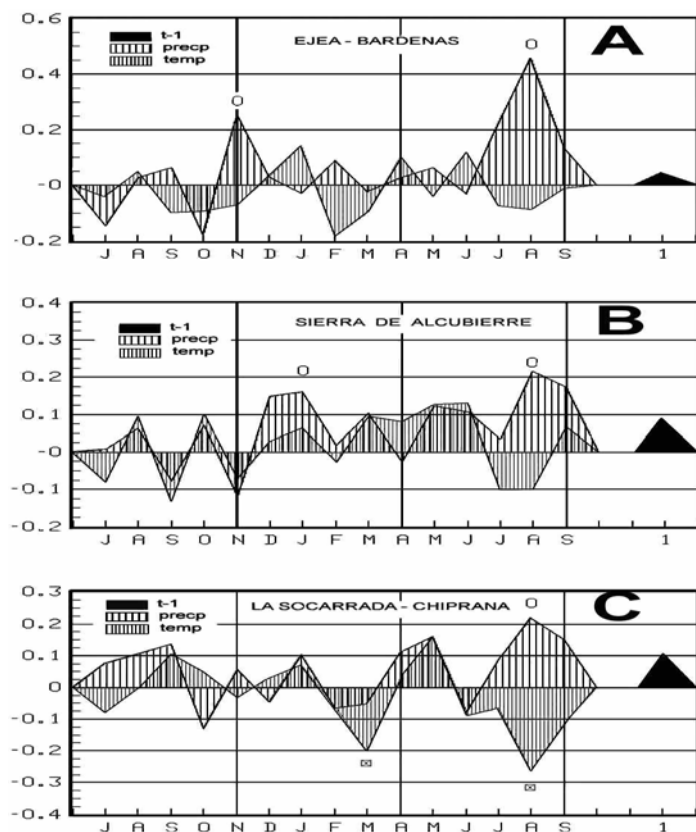


Fig. 4. Funciones respuesta: influencia del clima en el crecimiento de *P. halepensis* en Ejea-Bardenas (A), sierra de Alcubierre (B) y La Socarrada-Chiprana (C). Periodo calibración 1952 a 2000. Como regresores los valores mensuales de precipitación y temperatura desde julio del año anterior a septiembre en curso, además del crecimiento ($\alpha = 0,05$ indicada con círculos pequeños para la precipitación y cuadrados pequeños para la temperatura)

Sin embargo, si las lluvias tienen lugar muy avanzado el otoño ya tienen poca incidencia sobre el crecimiento, dado que a finales de octubre suele finalizar su periodo de desarrollo (NICAULT, 1999). En este caso facilitan la acumulación de nutrientes que favorecen el crecimiento del año siguiente. Así se observa en la localidad de Ejea-Bardenas (Fig. 4A) donde destaca la positiva influencia de la lluvia de noviembre del año anterior ($\alpha = 0,05$) sobre el crecimiento del año siguiente. Este efecto se desplaza a los meses invernales ($\alpha = 0,05$) en la sierra de Alcubierre (Fig. 4B), pero sus consecuencias cabe interpretarlas en términos parecidos a los expresados para la localidad anterior. En cualquier caso, en las tres zonas la variable crecimiento anterior ($t-1$) muestra una relación positiva con el incremento radial, corroborando el efecto inercia con el año siguiente.

En la zona de La Socarrada-Chiprana (Fig. 4C), la más oriental de las tres, de nuevo es la temperatura, en este caso finis-invernal, la que ocupa un lugar destacado como variable climática muy influyente en el crecimiento. Si el excesivo calor estival era un factor limitante para el desarrollo de *P. halepensis* en esta zona, también parece serlo la temperatura de marzo elevada ($\alpha = 0,05$). Un excesivo calor en este mes seguramente favorece el inicio del periodo de crecimiento en un momento en el que el riesgo de heladas tardías todavía es muy elevado en esta zona central del valle, donde las frecuentes e intensas inversiones térmicas (CREUS y FERRAZ, 2000) pueden provocar un parón vegetativo. Efecto similar cabe atribuir a las temperaturas elevadas de febrero en la zona de Ejea-Bardenas, tan solo que con menor significado estadístico y por tanto menor incidencia biológica.

Por el contrario, en la sierra de Alcubierre (Fig. 4B) las temperaturas primaverales benignas tienen un efecto positivo sobre el crecimiento (marzo, mayo y junio), o indiferente (abril), pero nunca negativo. Su explicación puede estar en la mayor altitud de esta sierra (812 m), de manera que la zona de muestreo (650-700 m) queda por encima del nivel medio de inversión térmica y escapa de las heladas asociadas a este tipo de situaciones. Tal interpretación reafirmaría la hipótesis (MONTSERRAT, 1976) de que la presencia de sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) en el nivel basal de la sierra se debería a que esta especie está mejor adaptada a los fríos invernales que *P. halepensis*, que busca refugio en zonas de mayor altitud de la sierra donde luce un espléndido sol, mientras que su nivel inferior está cubierto por una densa niebla asociada a intensas heladas.

5. CONCLUSIONES

La elevada sincronización que ofrecen las tres cronologías indica la existencia de un factor que controla la continuidad del crecimiento durante el periodo vegetativo y que es común a las tres localidades. Tal factor es, según las funciones respuesta, la precipitación estival, entendida como presencia o ausencia de la misma.

Por ello, a pesar de la elevada amplitud ecológica que caracteriza a *P. halepensis*, especialmente por su capacidad para adaptarse a ambientes de muy escasa humedad, la sequía estival deviene como el principal factor limitante para el desarrollo de esta especie en el sector central del valle del Ebro, de manera que los mayores crecimientos van asociados a los escasos veranos húmedos y menos calurosos, mientras que los menores se deben a la intensa sequía que afecta a esta zona casi todos los años.

En el ámbito circummediterráneo, la fase de crecimiento primaveral queda separada de la otoñal por un periodo de paralización de la actividad cambial debido a la frecuente e intensa sequía estival (NICAULT, 1999). A ello contribuye la elevada temperatura canicular que activa la evaporación y aumenta el estrés hídrico. Si tienen lugar precipitaciones capaces de interrumpir dicha pausa, o reactivar el crecimiento en otoño, se forman frecuentes falsos anillos (entre el 15 y 25% de los años según muestras) que indican la frecuencia con que se dan este tipo de situaciones. Su ubicación altitudinal en este sector, comprobable en la sierra de Alcubierre, puede estar muy relacionada con el rechazo a las heladas que acontecen al comienzo de la actividad vegetativa primaveral, por lo que elige vivir en zonas situadas por encima del nivel de inversión térmica donde los riesgos de helada son menores.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto BSO2002-02743 “*Caracterización espacio-temporal de las sequías en el Valle Medio del Ebro e identificación de sus impactos*” financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y el FEDER. Se encuentra además enmarcado dentro del “Programa de grupos de investigación consolidados” (grupo *Clima, Cambio Global y Sistemas Naturales*) financiado por el Gobierno de Aragón

7. REFERENCIAS

- ACHERAR, M. (1981). *La colonisation des friches par le pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) dans les basses garrigues du Montpellierais*. Thèse de doctorat, UTSL Montpellier, 210 pp.
- ALLUÉ, J. (1990). *Subregiones fitoclimáticas de España*. I.N.I.A, Madrid, 221 pp.
- BARBERO, M. *et al.* (1990). “Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the mediterranean basin”. *Vegetatio*, 87, pp. 151-173.
- BORGHETTI, M. *et al.* (1998). “Impact of long term drought on xylem embolism and growth in *Pinus halepensis* Mill.”. *Trees, Structures and Functions*, 12, pp. 187-195.
- CARRER, M. and URBINATI, C. (2001). “Assessing climate-growth relationships: a comparative study between linear and non-linear methods”. *Dendrochronologia*, 19(1), pp. 57-65.
- CEBALLOS, L. (1971). *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, 512 pp.
- COOK, E. and KAIRIUKSTIS, L. (1990). *Methods of dendrochronology. Application in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 394 pp.
- CREUS, J. y BEORLEGUI, M. (1996). La multicolinealidad de los datos climáticos. La regresión en componentes principales. JAURISTI y MORO (Eds.). *Modelos y sistemas de información en Geografía*. Universidad de Vitoria, 38-47.
- CREUS, J. y FERRAZ, J. (2000). Aridez y continentalidad en el valle medio del Ebro. En: INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES (Eds). *Congreso de botánica en homenaje a Francisco Loscos*. Teruel, pp. 317-325.
- CREUS, J. (2001). Las sequías en el valle del Ebro. En: GIL OLCINA y MORALES GIL (Eds.). *Causas y consecuencias de la sequías en España*. Universidad de Alicante, 574 pp.
- GÉNOVA, R. (1987). *Análisis y significado de los anillos de crecimiento en dos especies forestales: Pinus uncinata y Pinus sylvestris, en la península Ibérica*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 491 p.
- LOISEL, R. (1976). « Place et rôle des espèces du genre Pinus dans la végétation du sud-est méditerranéen français ». *Ecología Mediterránea*, 2, pp. 131-152.
- MONTSERRAT, P. (1976). Clima y paisaje. En: *P. Centr. Pir. Biol. Exp*, Jaca, pp. 149-171.

- NICAULT, A. (1999). *Analyse de l'influence du climat sur les variations inter et intra annuelles de la croissance radiale de pin d'Alep en Provence*. Thèse. Aix-Marseille, 254 pp.
- QUEZEL, P. (1980). Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Dans : PESSON (Ed.). *Actualités d'Ecologie Forestière*, Gauthier Villars, Paris, pp. 205-256.
- QUEZEL, P. et BARBERO, M. (1992). « Le pin d'Alep et les espèces voisines : répartition et caractères écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. » *Forêt Méditerranéenne*, XIII (3), pp.158-170.
- RATHGEBER, C. *et al.* (2000). "Simulated responses of *Pinus halepensis* forest productivity to climate change and CO₂ increase using a statistical model." *Global and Planetary Change*, 26, pp. 405-421.
- SAFAR, W., SERRE-BACHET, F. and TESSIER, L. (1992). « Les plus vieux pins d'Alep vivants connus. » *Dendrochronologia*, 10, pp. 41-52.
- SERRE, F. (1973). *Contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill)*. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille, 236 p.
- SERRE, F. (1976). « Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'Alep. » *Oecol. Plant*, 11(2), pp. 143-171.

