

DENDROECOLOGÍA DE *JUNIPERUS THURIFERA* EN ZONAS BIOGEOGRÁFICA Y CLIMÁTICAMENTE CONTRASTADAS

Camarero Martínez, J.J.

Unidad de Recursos Forestales. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Gobierno de Aragón, Apdo. 727, 50080 Zaragoza. E-mail: jccamarero@aragon.es

Resumen La gestión y conservación de especies arbóreas con áreas de distribución muy fragmentadas depende en gran medida del conocimiento de la respuesta de su crecimiento a la variabilidad climática. Las poblaciones aisladas situadas en zonas de alto estrés climático pueden mostrar respuestas distintas a la variabilidad climática respecto aquellas poblaciones localizadas en el área de distribución principal, bajo condiciones climáticas más favorables. Se describen las relaciones entre crecimiento radial y clima de la sabina albar (*Juniperus thurifera*) en dos zonas de clima contrastado: la Retuerta de Pina (población relictica aislada) y la Puebla de San Miguel (población no aislada). Se muestrearon dos poblaciones en cada zona tomando muestras cilíndricas de madera que fueron datadas mediante técnicas dendrocronológicas. Se obtuvieron cronologías para resumir el crecimiento radial medio y se relacionaron con series climáticas de datos mensuales (temperatura media, precipitación total). Se observó un efecto positivo de la precipitación de finales de primavera (mayo, junio) y verano (agosto) sobre el crecimiento de todas las poblaciones. Por el contrario, una mayor temperatura en junio o julio estaba correlacionada con un menor crecimiento. El crecimiento radial de *J. thurifera* está más limitado al inicio del verano cuando comienza el periodo de más estrés hídrico.

Palabras clave: anillo de crecimiento, clima, Monegros, Sistema Ibérico, xilema.

A DENDROECOLOGICAL STUDY OF *JUNIPERUS THURIFERA* POPULATIONS FROM SITES UNDER CONTRASTING CLIMATES

Abstract The management and conservation of tree species with a very fragmented distribution area depends greatly on their growth response to climatic variability. Isolated populations located in areas under a high climatic stress may show a growth response to climatic variability different from the response observed in populations located in the main distribution range, under more favourable climatic conditions. The relationships between radial growth of *Juniperus thurifera* and climate are described in two areas under contrasting climate: la Retuerta de Pina (isolated relictic population) and la Puebla de San Miguel (non-isolated population). Two populations were sampled in each site taking cores, which were cross-dated using dendrochronological methods. Chronologies were computed to summarize the mean radial growth in each area during at least the last three decades. The chronologies were related to regional monthly climate series of mean temperature and total precipitation. We found a positive effect of late-winter temperature, late-spring and summer precipitation on growth. On the contrary, a warmer early summer was associated with a lower radial growth which suggests that growth is constrained by water stress. We discuss these findings based on previous studies and focusing on the climatic trends of both study areas.

Key words: tree-ring, climate, Monegros, Iberian System, xylem.

ETUDE DENDROECOLOGIQUE DES POPULATIONS DE *JUNIPERUS THURIFERA* DANS DES ZONES DE CLIMAT CONTRASTE.

Résumé La gestion et la conservation des espèces arborescentes dont les aires de distribution sont très fragmentées dépendent en grande partie de la connaissance de leur réponse au climat, notamment dans des conditions de grande variabilité climatique comme c'est le cas actuellement. Cette étude décrit les relations entre le climat et la croissance radiale du Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) dans deux zones de climat contrasté, représentatives de la majorité des Genévriers ibériques, à savoir la Retuerta de Pina (Saragosse, Espagne) et la Puebla de San Miguel (Valence, Espagne). On a échantillonné deux populations dans chaque zone en prenant des échantillons cylindriques de bois qui ont été datés grâce à des techniques dendrochronologiques. On a établi des chronologies pour obtenir la croissance radiale moyenne dans chaque zone au moins au cours des trois dernières décennies. Ces chronologies ont été liées aux séries climatiques régionales formées par des relevés mensuels de température moyenne et de précipitations. On a détecté un effet positif sur la croissance des températures à la fin de l'hiver, et sur la croissance des précipitations à la fin du printemps et pendant l'été. En revanche, une température supérieure au début de l'été était liée à une croissance radiale moindre, ce qui suggère une limitation de la croissance à cause du stress hydrique. Ces résultats sont discutés dans le contexte d'études préalables et des tendances climatiques dans les zones d'étude.

Mots clés: cerne du croissance, climat, Monegros, System Ibérique, xylem.

INTRODUCCIÓN

El clima se considera uno de los factores principales que determinan la distribución de las especies leñosas (Woodward, 1987). Sin embargo, el uso histórico del territorio por el hombre ha modificado totalmente la distribución potencial de las especies frente a la que correspondería si ésta estuviera determinada exclusivamente por la variabilidad climática. Actualmente, encontramos en la Península Ibérica poblaciones de varias especies de árboles situadas en condiciones climáticas muy estresantes, ya sea poblaciones relicticas aisladas del área principal de distribución de la especie o bien poblaciones próximas al límite de distribución. Se supone que estas poblaciones aisladas o en el límite geográfico de distribución podrían responder a los cambios climáticos de forma más notable que las poblaciones situadas en plena área de distribución, bajo condiciones climáticas supuestamente menos estresantes, si la distribución de las especies está climáticamente determinada (Gaston, 2003). No obstante, en zonas tan modificadas históricamente por la actividad humana como la cuenca mediterránea, la distribución de las especies arbóreas depende en gran medida de los cambios de uso del suelo (Blondel & Aronson, 1999). La persistencia de estas poblaciones aisladas relicticas dependerá de la respuesta de su crecimiento al clima ya que son especies longevas que pueden persistir periodos largos de tiempo aunque la reproducción sexual sea escasa y fluctuante (Warner & Chesson, 1985). En este estudio, se comparan las relaciones entre crecimiento y clima en poblaciones ibéricas de *Juniperus thurifera* L. situadas en zonas biogeográfica y climáticamente contrastadas. El objetivo es comparar cómo el clima afecta al crecimiento radial en poblaciones situadas en plena área de distribución de la especie (Sistema Ibérico) bajo un clima mediterráneo continental frente a poblaciones situadas en una zona alejada del área principal de distribución bajo un clima semiárido continental (Monegros). La hipótesis de partida es que las poblaciones de las zonas contrastadas que se comparan mostrarán relaciones clima-crecimiento claramente diferentes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Especie de estudio

La sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) es una cupresácea perennifolia dioica de talla media (5-10 m de altura, diámetro normal habitualmente entre 0,1 y 0,5 m). Se considera una especie de crecimiento lento, con valores de crecimiento radial anual dentro del rango 0,5-1,5 mm. La sabina albar abunda en las montañas áridas del mediterráneo occidental formando un área muy fragmentada con poblaciones en: Córcega, Alpes y Pirineos franceses, España, Marruecos y Argelia (Figura 1). En la Península Ibérica, es la especie dominante en zonas de clima continental como páramos y mesetas elevadas situadas entre los 900 y 1200 m s.n.m., aunque el rango altitudinal de su distribución ibérica es bastante más amplio (140-1800 m). Aparece en zonas con precipitaciones anuales de al menos 300 mm, precipitaciones medias anuales de julio y agosto entre 20 y 25 mm, y oscilaciones térmicas anuales de hasta 65° C con mínimas de -25° C y máximas de 40° C (Ceballos & Ruiz de la Torre, 1979; Blanco *et al.*, 1997). Abunda en suelos pedregosos y se considera indiferente al tipo de suelo, aunque casi todos los sabinares ibéricos aparecen en suelos básicos, ya que estos predominan en las áreas de clima continental. En el Sistema Ibérico de Teruel los sabinares son dominantes en las sierras meridionales entre 1000 y 1800 m de altitud (Costa *et al.*, 1986; Comín, 1987). En el valle del Ebro (Monegros), existen además sabinares termófilos en zonas de clima semiárido que reciben hasta 100 mm de precipitación anual y sobre suelos ricos en yeso (Braun-Blanquet & De Bolós, 1957). En estas zonas más secas del valle del Ebro el estrés hídrico puede extenderse a la primavera y el otoño debido a las elevadas temperaturas, insolación y al frecuente viento del NW. Mientras que en las áreas continentales del Sistema Ibérico la sabina se encuentra junto a la encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.),

el quejigo (*Quercus faginea* Lam.) o el pino negral (*Pinus nigra* Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco), en las zonas termófilas del valle del Ebro, entre 140 y 1000 m de altitud, convive con el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) y la sabina negral (*Juniperus phoenicea* L.). *J. thurifera* habría emigrado desde Europa central hacia la Península Ibérica y el norte de África (Jiménez *et al.*, 2003). La sabina albar se considera un relicto de origen Terciario lo que, unido al uso histórico de sus masas (pastoreo, madera), puede explicar su reducida y discontinua área de distribución con poblaciones relegadas a zonas de elevado estrés climático o suelos pobres o salinos donde la competencia con otras especies arbóreas es menor. Un ejemplo son las poblaciones aisladas de la Retuerta de Pina (Zaragoza) que podrían ser una muestra de la estructura de bosques mediterráneos antes más extensos en los Monegros (Blanco *et al.*, 1997).

Localidades de estudio

Se seleccionaron dos áreas de estudio de climas y características biogeográficas contrastadas: una en el Sistema Ibérico, próxima a la Puebla de San Miguel (PS) y otra en el sector central del Valle del Ebro, en la Retuerta de Pina (RP). La zona PS presenta sabinares mediterráneos de montaña, en plena área de distribución de la sabina albar en el Sistema Ibérico y que reciben una precipitación media anual próxima a los 900 mm. Sin embargo, el sabinar de la zona RP está separado de las poblaciones más próximas por al menos 100 km (Figura 1) y recibe una media de 400 mm anuales, lo que corresponde al clima semiárido continental dominante en esta zona (Figura 2). La sequía estival es más acusada en la localidad RP que en la PS ya que la primera recibe 22 mm de media en agosto frente a los 44 mm de la segunda.

Muestreo y métodos dendrocronológicos

En cada zona se muestrearon dos poblaciones próximas seleccionando al menos 15 individuos adultos. Se extrajeron dos testigos radiales cilíndricos de madera a 1,3 m de altura de cada individuo y se midió el diámetro del árbol a esta altura. También se anotaron las características geográficas y topográficas de cada población.

Los testigos de madera fueron secados y pulidos con lijas de grano sucesivamente más fino hasta distinguir bien los anillos de crecimiento. A continuación, las muestras se dataron usando los anillos característicos estrechos, anchos y con fluctuaciones de densidad en la madera tardía (Yamaguchi, 1991). Los anillos de crecimiento fueron medidos con una resolución de hasta 0,01 mm utilizando un sistema semiautomático de medición LINTAB-TSAP (Frank Rinn, Heidelberg, Alemania). La datación de los anillos se evaluó usando el programa COFECHA (Holmes, 1983). También se cuantificó la frecuencia en cada población de anillos con fluctuaciones de densidad en la madera tardía (AFD), también denominados anillos falsos o dobles (Kaennel & Schweingruber, 1995).

Relaciones entre crecimiento radial y clima

Para minimizar la influencia del tamaño y la edad, y resaltar la señal climática, los datos de anchura del anillo fueron estandarizados y se les extrajo la tendencia utilizando el programa ARSTAN (Cook, 1985). Para extraer la variabilidad de baja frecuencia y teniendo en cuenta que las cronologías eran en general cortas (30 años), se ajustaron funciones exponenciales negativas a cada serie y después se ajustaron funciones polinómicas (“spline”) de una longitud de 20 años para retener un 50% de la variabilidad a esta frecuencia. Mediante modelos autoregresivos se extrajo la autocorrelación temporal, se promediaron las series sin tendencia y estandarizadas y se obtuvieron así cuatro cronologías residuales, una para cada población estudiada. Para la comparación con los datos climáticos mensuales, se seleccionó el

intervalo común 1970-2005 por mantener un tamaño de muestra casi constante y mostrar una buena correlación del crecimiento radial entre testigos y entre árboles.

La influencia del clima sobre el crecimiento de *J. thurifera* en ambas zonas de estudio se evaluó calculando coeficientes de correlación y de regresión (función respuesta) entre los datos climáticos mensuales del periodo 1970-2005 y el índice de crecimiento radial para ese mismo periodo. Una función respuesta es una técnica de regresión múltiple que relaciona los componentes principales de los datos climáticos mensuales para una serie de años, en este estudio precipitación total y temperatura media, y los índices de crecimiento radial en ese mismo periodo (Fritts, 1976). La mayor limitación de esta aproximación es que no considera la existencias de relaciones no lineares entre clima y crecimiento. En el caso de las poblaciones de la zona PS, se construyó una media regional climática usando datos de varias estaciones próximas (Ademuz, 40° 04' N, 1° 17' W, 747 m s.n.m.; Ademuz-Agro, 40° 03' N, 1° 17' W, 740 m; Camarena de la Sierra, 40° 09' N, 1° 02' W, 1310 m; Sesga, 40° 02' N, 1° 11' W, 1150 m; Teruel, 40° 21' N, 1° 07' W, 900 m; Torrijas, 40° 01' N, 0° 57' W, 1359 m). Para ello se empleó la subrutina MET del paquete de programas "Dendrochronology Program Library" (Holmes, 1994). La homogeneidad de los datos climáticos usados se evaluó utilizando la subrutina HOM. En el caso de las poblaciones de la zona RP, se usaron los datos homogeneizados de la estación de Pallaruelo de Monegros (41° 42' N, 0° 12' W, 356 m) que es representativa de esa zona (Creus & Saz, 2004).

La ventana de correlación clima-crecimiento incluyó desde septiembre del año anterior al crecimiento hasta agosto del año de formación del anillo. Los coeficientes de correlación y de respuesta se calcularon usando el programa PRECON (Fritts *et al.*, 1991). La significación de los coeficientes de respuesta calculados se estimó comparándolos con los coeficientes obtenidos en 9999 conjuntos de datos, a partir de la aleatorización con reemplazamiento de los datos originales (Guiot, 1990). También se calcularon los coeficientes de correlación entre la frecuencia de AFDs y las variables climáticas mensuales para el periodo 1982-2005.

RESULTADOS

Aunque los crecimientos medios anuales medidos sean próximos a 1 mm en todas las poblaciones (Tabla 1), la sabina albar no debería considerarse una especie de crecimiento lento sino de crecimiento muy plástico ya que se han medido crecimientos radiales anuales de hasta 5 y 7 mm en las poblaciones de las zonas PS y RP, respectivamente. La media de crecimiento radial del 2005 (año muy seco en todas las poblaciones) respecto al 2004 fue de al menos el 60% respecto al crecimiento del 2004 en las poblaciones PS1 y PS2. Sin embargo, en las poblaciones RP1 y RP2, bajo clima semiárido, el anillo del 2005 fue muy estrecho y alcanzó en promedio el 30 % del crecimiento del año previo o incluso no se observó el anillo del 2005 en el 28% de los testigos radiales. Pese a estar ambas zonas separadas por 180 km, se observaron la presencia de anillos muy anchos (1997) o estrechos (1994) en ambos sitios (Figura 3), lo que refleja una respuesta al clima regional. Además, también se detectaron diferencias entre poblaciones dentro de cada localidad. Por ejemplo, la población PS2, situada a más altitud que la PS1, mostró una mayor correlación en el crecimiento radial de sus árboles y una mayor respuesta al clima.

En las poblaciones PS1 y PS2, la frecuencia de AFDs aumentó en los años con mayor precipitación en junio, julio y agosto y temperaturas menos elevadas durante estos mismos meses (Figura 4). Similares relaciones se hallaron entre crecimiento y clima ya que se encontró un efecto positivo de la precipitación de mayo o junio y de agosto sobre el crecimiento radial (Figura 5). Por el contrario, una mayor temperatura en junio o julio estaba relacionada con un menor crecimiento. Estos resultados se explican porque los AFDs solían ser anillos anchos ya que la correlación entre la frecuencia anual de AFDs y el índice de crecimiento radial fue significativa y positiva (datos de PS1 y PS2, $r = 0,55$; $p < 0,05$, $n = 60$).

DISCUSIÓN

El crecimiento radial de *J. thurifera* en poblaciones en áreas aisladas o dentro del área de distribución principal se ve limitado al aumentar el estrés hídrico, es decir al inicio del verano. En poblaciones de *P. halepensis* de zonas de clima semiárido se ha detectado también que el crecimiento radial está correlacionado de forma positiva con la precipitación estival (julio, agosto) del año de crecimiento y de forma negativa con las temperaturas de esos meses (Creus & Saz, 2004). Por tanto, la sequía estival parece ser el mayor limitante climático del crecimiento secundario de la sabina albar y del pino carrasco en climas semiáridos. Se han hallado relaciones clima-crecimiento similares a las aquí descritas en poblaciones con menos estrés climático en los Pirineos franceses (Bertaudière *et al.*, 1999). Análisis de isótopos de carbono en acículas de sabinas en la misma zona de estudio de las poblaciones RP1 y RP2 sugieren que *J. thurifera* podría mostrar una elevada eficiencia en el uso del agua a largo plazo (Peñuelas *et al.*, 1999). En *P. halepensis*, una sequía muy prolongada durante un año provocó reducciones del crecimiento radial de hasta el 90% incluso un año después transcurrida la sequía (Borghetti *et al.*, 1998).

La presencia de lluvias al final del verano o en otoño se ha relacionado con la formación de AFDs en *P. halepensis* (Serre, 1976) y en *J. thurifera* (Bertaudière *et al.*, 1999) ya que la precipitación reactivaría la actividad del cámbium limitada por la sequía del verano (Nicault *et al.*, 2001). La precipitación de verano, sobre todo julio, favorecería tanto el crecimiento como la formación de fluctuaciones de densidad a diferencia de Bertaudière *et al.* (1999) que encontraron relaciones con meses previos.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados sugieren que, pese a la plasticidad de crecimiento de la sabina que puede formar anillos de crecimiento de 5 mm de anchura en años de clima favorable, esta especie muestra sin embargo una estrategia muy conservadora en sus relaciones entre crecimiento radial y clima ya que es una especie muy sensible al estrés hídrico estival independientemente de la intensidad de la sequía en su área de distribución.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo de un contrato INIA-Gob. Aragón así como la ayuda prestada en el muestreo por Carlos Lastanao y por Daniel Montesinos (CIDE, CSIC). Gracias a los comentarios de J.M. Olano por mejorar una versión preliminar de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- BERTAUDIÈRE, V., MONTÈS, N., GAUQUELIN, T. & ÉDOUARD, J.-L.; 1999. Dendroécologie du genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.): exemple de la thuriféraie de la montagne de Rié (Pyrénées, France). *Ann. For. Sci.* 56: 685-697.
- BLANCO, E., CASADO, M.A., COSTA, M., ESCRIBANO, R., GARCÍA, M., GÉNOVA, M., GÓMEZ, A., GÓMEZ, F., MORENO, J.C., MORLA, C., REGATO, P. & SÁINZ, H.; 1997. *Los bosques ibéricos: una interpretación geobotánica*. Planeta. Madrid.
- BLONDEL, J. & ARONSON, J.; 1999. *Biology and wildlife of the Mediterranean region*. Oxford University Press, Oxford.
- BORGHETTI, M., CINNIRELLA, S., MAGNANI, F. & SARACINO, A.; 1998. Impact of long term drought on xylem embolism and growth in *Pinus halepensis* Mill. *Trees* 12:187-195.
- BRAUN-BLANQUET, J. & DE BOLÓS, O.; 1957. Les groupements végétaux du bassin moyen de l'Ebre et leur dynamisme. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei* 5: 1-266.

- CEBALLOS, L. & RUIZ DE LA TORRE, J.; 1979. *Árboles y arbustos de la España peninsular*. E.T.S.I.M., Madrid.
- COMÍN, P.; 1987. Descripción estructural de las poblaciones de sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) en el cuadrante sud-occidental de la provincia de Teruel: Análisis de la competencia interespecífica entre la sabina y otras especies arbóreas. *Teruel: Revista del Instituto de Estudios Turolenses* 77-78: 9-114.
- COOK, E.R.; 1985. *A time series analysis approach to tree-ring standardization*. Ph.D. Thesis, The University of Arizona, Tucson.
- COSTA TENORIO, M., MORLA JUARISTI, M. & SÁINZ OLLERO, H.; 1986. Estudio fitoecológico de los sabinares albares (*Juniperus thurifera* L.) de la provincia de Teruel. *Teruel: Revista del Instituto de Estudios Turolenses* 76: 51-134.
- CREUS NOVAU, J. & SAZ SÁNCHEZ, M. A.; 2004. La sequía como principal factor limitante del desarrollo de *Pinus halepensis* Mill. en el sector central del valle del Ebro. In: J. C. García Codrón (ed.), *El clima, entre el mar y la montaña*: 84-95. Universidad de Cantabria, Santander.
- FRITTS, H.C.; 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press. London.
- FRITTS, H.C., VAGANOV, E.A., SVIDERSKAYA, I.V. & SHASHKIN, A.V.; 1991. Climatic variation and tree-ring structure in conifers: empirical and mechanistic models of tree-ring width, number of cells, cell-size, cell-wall thickness and wood density. *Clim. Res.* 1: 97-116.
- GASTON, K. J.; 2003. *The structure and dynamics of geographic ranges*. Oxford University Press. New York.
- GUIOT, J.; 1990. Methods of calibration. In: E.R. Cook & L. Kairiukstis (eds.), *Methods of dendrochronology: Application to Environmental Sciences*: 165-178. Kluwer. Dordrecht.
- HOLMES, R.L.; 1983. Computer-assisted quality control in tree-dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43: 69-78.
- HOLMES, R.L.; 1994. *Dendrochronology Program Library*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- JIMÉNEZ, J. F., WERNER, O., SÁNCHEZ-GÓMEZ, P., FERNÁNDEZ, S. & GUERRA, J.; 2003. Genetic variations and migration pathway of *Juniperus thurifera* L. (Cupressaceae) in the western Mediterranean region. *Israel J. Plant Sci.* 51: 11-22.
- KAENNEL, M. & SCHWEINGRUBER, F. H.; 1995. *Multilingual glossary of dendrochronology*. WSL-Haupt. Berne, Stuttgart, Vienna.
- NICAULT, A., RATHGEBER, C., TESSIER, T. & THOMAS, A.; 2001. Observations sur la mise en place du cerne chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.): confrontation entre les mesures de croissance radiale, de densité et les facteurs climatiques. *Ann. For. Sci.* 58 : 769-784.
- PEÑUELAS, J., FILELLA, I. & TERRADAS, J.; 1999. Variability of plant nitrogen and water use in a 100-m transect of a subdesertic depression of the Ebro valley (Spain) characterized by leaf $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. *Acta Oecol.* 20: 119-123.
- SERRE, F.; 1976. Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'Alep. *Oecol. Plant.* 11: 143-171.
- WARNER, R. R. & CHESSON, P. L.; 1985. Coexistence mediated by recruitment fluctuations: a field guide to the storage effect. *Am. Nat.* 125: 769-787.
- WOODWARD, F. I.; 1987. *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press. Cambridge.
- YAMAGUCHI, D.K.; 1991. A simple method for crossdating increment cores from living trees. *Can. J. For. Res.* 21: 414-416.

TABLA

Población	Retuerta de Pina-1	Retuerta de Pina-2	Puebla de S. Miguel-1	Puebla de S. Miguel-2
Abreviatura	RP1	RP2	PS1	PS2
Latitud (N)	41° 27'	41° 28'	40° 04'	40° 04'
Longitud (W)	0° 16'	0° 17'	1° 15'	1° 14'
Altitud (m s.n.m.)	350	360	1475	1560
Orientación	N-NW	N-NE	N-NE	N-NE
Pendiente (°)	5	14	15	10
Dbh (cm)	19,8 ± 3,2	19,7 ± 2,6	19,9 ± 1,1	15,7 ± 0,9
N. árboles / testigos	15 / 25	15 / 30	40 / 75	40 / 80
Crecim. medio (mm)	1,07 ± 0,03	0,68 ± 0,02	1,12 ± 0,01	1,10 ± 0,01

Tabla 1. Características de los sitios de estudio. Se muestran las medias ± SE.

FIGURAS

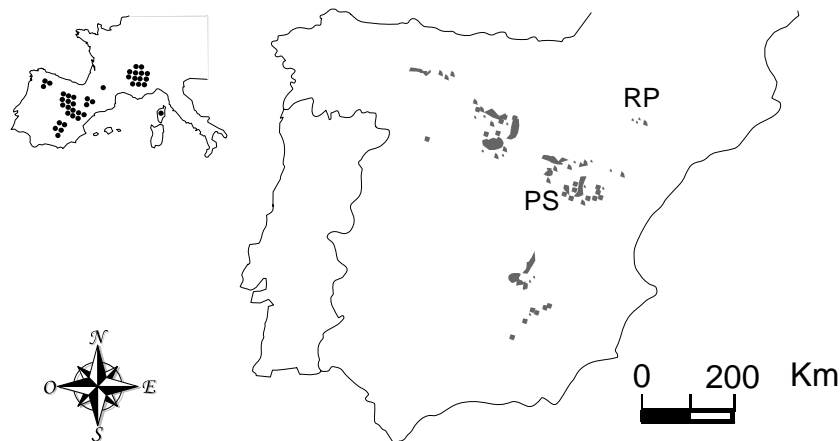


Figura 1. Distribución de *J. thurifera* en Europa y en la Península Ibérica y situación de las zonas muestreadas: RP, Retuerta de Pina (Zaragoza); PS, Puebla de San Miguel (Valencia).

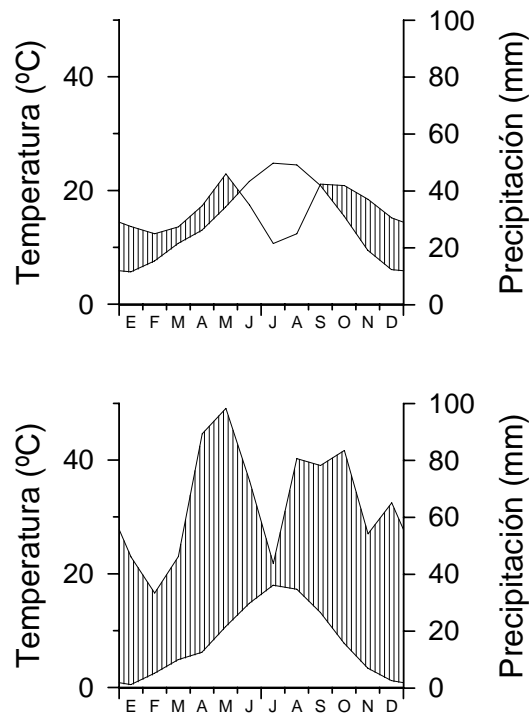


Figura 2. Diagramas climáticos local de Pallaruelo de Monegros (arriba), próximo a las poblaciones RP1 y RP2) y regional de la Puebla de San Miguel-Ademuz (abajo), representativo del área de las poblaciones PS1 y PS2.

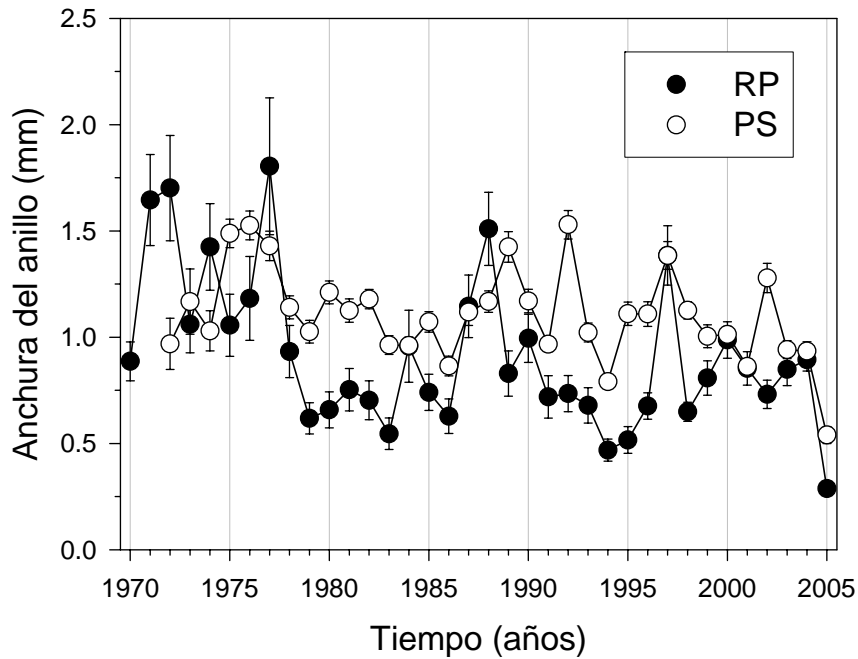


Figura 3. Crecimiento radial medio (\pm SE) en las dos zonas de estudio (RP, Retuerta de Pina; PS, Puebla de San Miguel). Se muestra el periodo (1970-2005) con máximo tamaño de muestra.

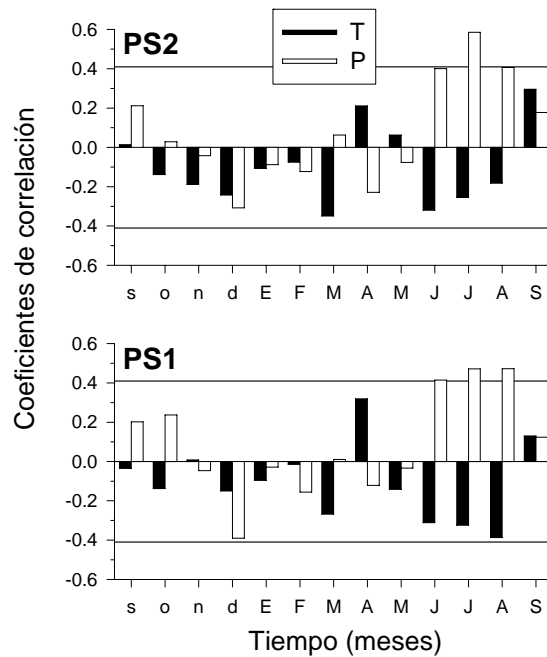


Figura 4. Correlaciones entre la frecuencia de anillos con fluctuaciones de densidad en la madera tardía y las variables climáticas mensuales (T, temperatura media; P, precipitación total) para las poblaciones PS1 y PS2. Las líneas horizontales muestran el nivel de significación ($p < 0,05$). Los meses abreviados con letras minúsculas pertenecen al año previo al de formación del anillo y los meses con mayúsculas al año de crecimiento.

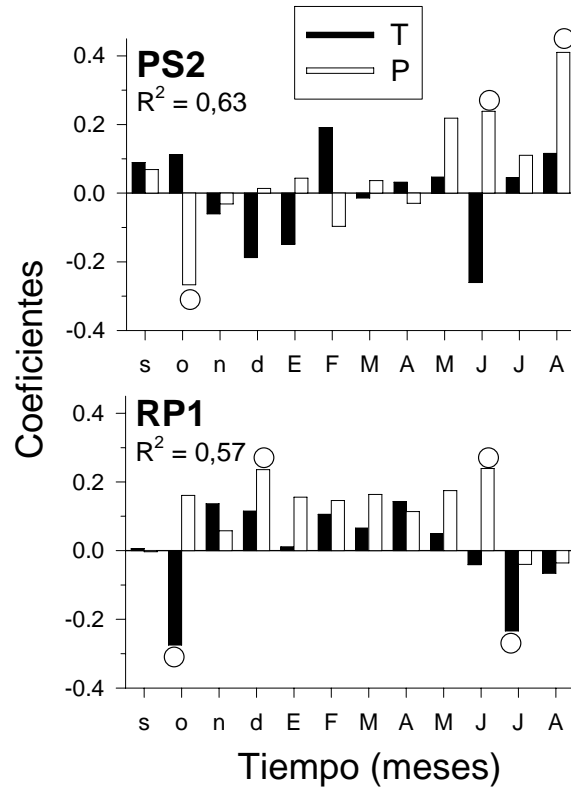


Figura 5. Funciones respuesta para las dos poblaciones que mostraron mayor porcentaje de variación del crecimiento (R^2) explicado por el clima. Los coeficientes significativos ($p < 0,05$) se indican con círculos situados sobre las barras. Abreviaturas como en la Figura 4.<