

CREACIÓN Y ANÁLISIS DE UNA RED DENDROCLIMÁTICA DE *PINUS HALEPENSIS* MILL. EN EL ÁMBITO MEDITERRÁNEO

Martin DE LUIS¹, Miguel A. SAZ-SÁNCHEZ¹, Klemen NOVAK¹, Luis A. LONGARES¹,
José RAVENTÓS²

¹ Departamento de Geografía y O.T., Universidad de Zaragoza

² Departamento de Ecología, Universidad de Alicante

mdla@unizar.es, masaz@unizar.es, kn4@alu.ua.es, lalongar@unizar.es, jraventos@ua.es

RESUMEN

En este trabajo presentamos los avances en el proceso de creación de una densa red de cronologías de *Pinus halepensis* en la Península Ibérica. El análisis preliminar de esta red que actualmente incluye 28 cronologías, sugiere que la diversidad de regímenes climáticos y la alta variabilidad de las dinámicas temporales de los mismos se traducen en una gran variabilidad en las respuestas dendroclimáticas. Esta inestabilidad espacial observada sugiere a su vez que las relaciones clima-crecimiento ahora observadas pueden estar están sujetas a cambios en la medida que las condiciones climáticas se vean modificadas.

Palabras clave: dendrocronología, *Pinus halepensis* Mill., mediterráneo, relaciones clima-crecimiento.

ABSTRACT

In this article we present advances in the development of a tree-ring network of *Pinus halepensis* Mill. for the Mediterranean fringe of Spanish peninsula. Our results based on 28 available chronologies show large phenotypic plasticity in *P. halepensis* linked to climate variability and, in particular, highlight the ability of this species to adapt its growth rhythm to various climate regimes. This finding reveals an high instability in climate-growth relationships and, consequently that important modifications in the climate-growth relationship may be expected in future climates.

Key words: dendrochronology, *Pinus halepensis* Mill., Mediterranean, climate-growth relationship.

1. INTRODUCCION

En el conjunto extraordinariamente diverso de condiciones climáticas que incluye el dominio mediterráneo, el género *Pinus* es de lejos la especie arbórea dominante (RICHARDSON y RUNDEL, 1998). Así, los bosques de pinos, ocupan alrededor de 13 millones de hectáreas, lo que representa aproximadamente el 5% del total del área mediterránea y el 25% del total del área forestal (RICHARDSON y RUNDEL, 1998).

De entre las diferentes especies presentes, la más común es *Pinus halepensis* Mill. que ocupa extensas áreas principalmente en el mediterráneo occidental (BARBÉRO *et al.*, 1998; QUÉZEL, 2000). La presencia de *Pinus halepensis* es una constante lo largo del área mediterránea de la Península Ibérica, representando en muchos ambientes la única especie arbórea capaz de desarrollar bosques maduros y por lo tanto jugando un papel decisivo desde un punto de vista ecológico, cultural y económico (PEÑUELAS y BOADA, 2003).

En este sentido, el estudio de cómo han sido durante el siglo XX las relaciones clima-crecimiento de estas masas forestales y el establecimiento de cómo estas pueden verse modificadas en el futuro, es un aspecto clave a la hora de realizar predicciones del impacto del cambio del clima sobre las mismas. Esta tarea requiere de un esfuerzo conjunto de disciplinas tales como la ecología y la climatología, y en este sentido, la dendrocronología puede suponer una herramienta de gran utilidad para el estudio de estas interacciones.

A pesar de la juventud de la dendrocronología como ciencia en Europa, y mucho más en España (los primeros trabajos datan de 1976, CREUS y PUIGDEFÁBREGAS, 1976), son muchas las cronologías disponibles, distribuidas de forma más o menos homogénea por nuestro territorio. Sin embargo, estos estudios se han realizado mayoritariamente en sectores montañosos donde todavía existen masas forestales de cierta importancia que ya sea por las figuras de protección legal o por tratarse de terrenos accidentados, han persistido a través de los siglos (DEL BARRIO *et al.*, 1990; TARDIF *et al.*, 2003; CAMARERO y GUTIÉRREZ, 2004). Por estas razones, pocas de esas cronologías existentes han sido obtenidas en el arco mediterráneo español.

Como consecuencia de ello, y a pesar de su amplia presencia e importancia como especie forestal, existe escasa información sobre cuáles son las variables climáticas que condicionan el crecimiento de *Pinus halepensis* Mill. y por lo tanto poca información en relación a los potenciales impactos que el cambio climático puede originar en su dinámica.

En este trabajo presentamos los avances en el proceso de creación y análisis de una densa red de cronologías de *Pinus halepensis* en la Península Ibérica, que trata de recoger la gran variabilidad de condiciones climáticas en una zona especialmente vulnerable al cambio del clima, como es el área mediterránea.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En cada una de las masas forestales objeto de estudio, se obtuvieron muestras con una barrena hueca tipo *Pressler*, de 5 mm de sección y una longitud de 300 o 400 mm. Como protocolo general, en cada sitio, se muestrearon 15 árboles vivos. Los *cores* o testigos se extrajeron a una altura en el tronco de unos 130 cm consiguiendo de cada árbol dos muestras con distinta orientación o pendiente, con objeto de compensar las variaciones que sobre el crecimiento pueden ejercer estos factores y facilitar su sincronización.

Los *cores* se dejaron secar a temperatura ambiente durante 8-10 días, colocándose después en soportes de madera para evitar su deterioro. Posteriormente se cortaron longitudinalmente y se pulieron con lijas de grano sucesivamente más fino hasta conseguir una buena visión de la secuencia de crecimientos anuales o anillos. Las muestras fueron fotografiadas y sincronizadas (datación) y a través de la comparación de las características anatómicas de cada anillo de crecimiento en relación al resto de muestras obtenidas en cada sitio. A

continuación, se midió el grosor de cada anillo con una precisión de 0,01 mm en una mesa de medición LinnTab usando el programa TSAP Win. Las series de medidas se sometieron posteriormente a un proceso de verificación mediante el programa COFECHA (HOLMES, 1992) que ayuda a identificar segmentos de la muestra donde se han producido errores de sincronización o medición y a verificar estadísticamente la bondad del proceso.

Una vez, sincronizado, medido y verificado el grosor de cada anillo, las series de crecimiento fueron estandarizadas con objeto de extraer el efecto de la edad en el crecimiento radial del árbol. Para ello se empleó el programa ARSTAN (HOLMES, 1992). En nuestro caso, se eliminaron en primer lugar las tendencias de baja frecuencia (edad/tamaño del árbol) a través del ajuste de la serie de crecimiento a una función exponencial negativa o a una línea de regresión. A continuación, aplicamos un segundo paso de en el proceso de estandarización mediante splines cúbicos de 30 años de frecuencia. Como paso final, realizamos un modelizado autoregresivo de cada serie para eliminar la influencia del grosor del anillo del año previo en el crecimiento. Finalmente, cada una de las cronologías de cada localidad se obtuvo a través de la media robusta de las series adimensionales y sin tendencias de media y baja frecuencia obtenidas en cada sitio (cronologías residuales).

La identificación de las variables del clima que condicionan la dinámica de crecimiento *Pinus halepensis* en cada uno de las zonas muestreadas se realizó a través de análisis de correlaciones simples, en el que la cronología residual obtenida actúa como variable independiente siendo las series climáticas mensuales (desde septiembre del año previo hasta diciembre del año de formación del anillo), estacionales (otoño previo, invierno, primavera, verano y otoño en curso) y anuales (septiembre del año previo a agosto) las variables dependientes.

Como fuente de datos de precipitaciones empleamos para cada localidad la serie más cercana a la zona de muestro de entre las disponibles en la base de datos MOPREDA (GONZÁLEZ-HIDALGO *et al.*, 2010). De forma similar, se eligió para cada caso la serie de temperaturas más cercana de entre las disponibles en el grid de alta resolución CRU TS 1.2 (<http://www.cru.uea.ac.uk/>) (MITCHELL *et al.*, 2004)

4. RESULTADOS

4. 1. Red dendrocronológica

La red dendrocronológica disponible procede de 28 bosques de *Pinus halepensis* situados a lo largo de la fachada mediterránea de la Península Ibérica. La localización espacial de dichas áreas se muestra en la Figura 1.

En su conjunto, la base de datos recoge información de un total de 417 árboles incluyendo 866 muestras y 68.216 anillos de crecimiento anuales.

Las cronologías obtenidas tienen una longitud media de 109 años, con un máximo de 214 en el caso de Requena (REQ) y un mínimo de 42 en el caso de Estopiñán (EST). La extensión temporal de cada cronología así como el número de árboles y muestras con la que están construidas se muestra en la figura 2.

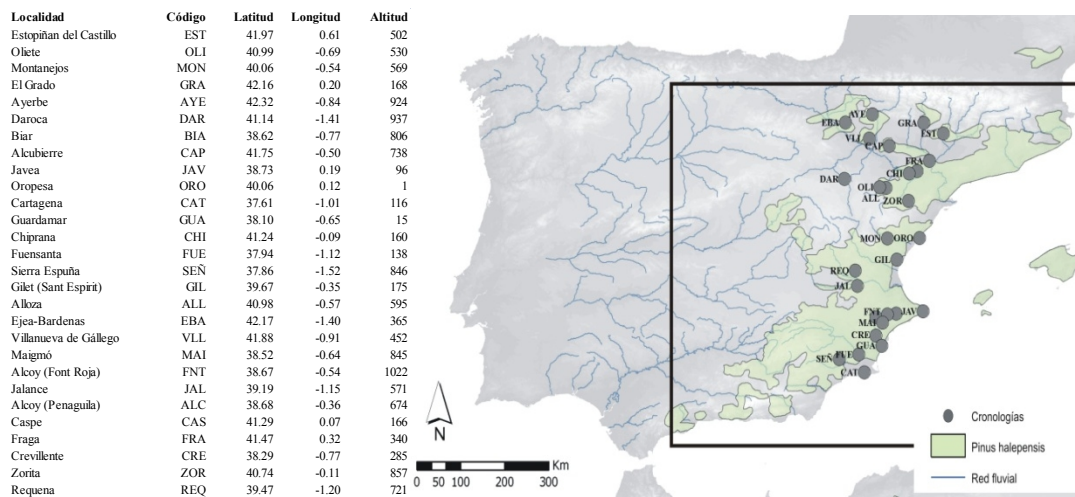


Fig. 1: Mapa de localización de la red dendrocronológica de *Pinus halepensis* Mill.

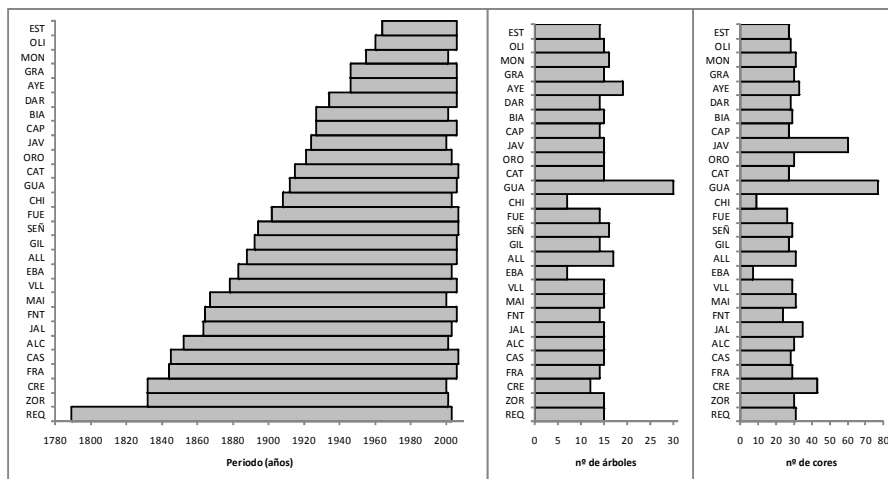


Fig. 2: Extensión temporal de cada cronología y número de árboles y muestras con la que están construidas.

4. 2. Relaciones dendroclimáticas

El análisis preliminar de esta red dendrocronológica, sugiere que la alta variabilidad de los regímenes climáticos y la también alta variabilidad de las dinámicas temporales de los mismos que coexisten en el área de estudio, se traducen también en una gran variabilidad en las respuestas dendroclimáticas.

De un modo general, y a la escala mensual, el crecimiento de *Pinus halepensis* se ve influenciado de forma positiva por las precipitaciones de diciembre a junio. De la misma manera, el estudio a escala estacional indica la influencia positiva de las precipitaciones de invierno primavera y verano y la precipitación a escala anual muestra también una relación directa con el crecimiento de los arboles (Figura 3).

Pese a este patrón general, existe también una elevada variabilidad en la respuesta entre los diferentes ambientes analizados, en la medida en que si bien, por un lado, las precipitaciones de todos los meses desde septiembre del año previo hasta noviembre del año en curso son

significativas en alguna de las localidades analizadas, también las precipitaciones de cada uno de esos meses no son significativas en otras. De la misma manera, tanto las precipitaciones del otoño previo como las de invierno, primavera verano y otoño, condicionan positivamente el crecimiento de los arboles en algunos bosques pero no lo hacen en otros. En este sentido, solo es la escala anual de análisis la que muestra un patrón espacial consistente siendo su influencia siempre positiva en el crecimiento (Figura 3).

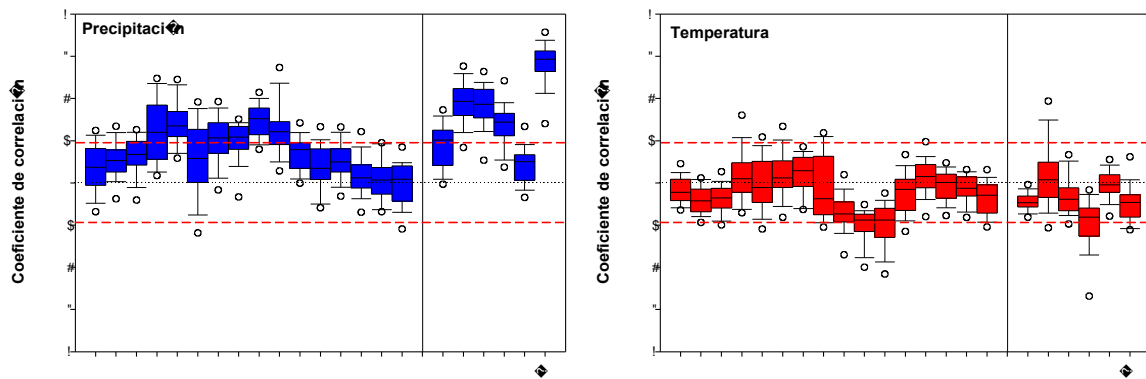


Fig. 3: Diagrama de caja (box-plot) mostrando los coeficientes de correlación entre las cronologías residuales y las series precipitación y temperatura mensuales, estacionales y anuales en el conjunto de la red dendrocronológica. La línea horizontal central dentro de las cajas representa la mediana. Las cajas engloban los dos cuartiles centrales, los "bigotes" indican los percentiles 10 y 90 y los puntos exteriores los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales discontinuas indican los umbrales de significación al 95% de confianza.

La influencia de las temperaturas es, en general, menor que la observada para las precipitaciones. Así, ni la temperatura de ningún mes ni de ninguna estación ni tampoco la anual, tienen de un modo generalizado un efecto significativo sobre el crecimiento (Figura 4). Sin embargo la variabilidad de respuesta anteriormente comentada en el caso de las precipitaciones también se pone de manifiesto en el caso de las temperaturas. Así, las temperaturas de diciembre a abril muestran correlaciones positivas con el crecimiento en algunos sectores (o sea, el frío invernal actúa como factor limitante localmente). De la misma manera, las temperaturas de Mayo, Junio y Julio muestran correlaciones negativas con el crecimiento en otros sectores (o sea, el calor del verano también actúa como factor limitante localmente) (Figura 3).

4. 2. Variaciones espaciales en las relaciones dendroclimáticas estacionales

La variabilidad espacial en las relaciones dendroclimáticas anteriormente comentada muestra a su vez patrones espaciales coherentes, en relación con los propios gradientes climáticos existentes en la fachada mediterránea aunque pone de manifiesto también la influencia de factores locales.

Así, las precipitaciones del otoño previo muestran una correlación significativa con el crecimiento, principalmente en los sectores semiáridos del SE peninsular siendo su efecto no significativo en las zonas más continentales (Figura 4a). Las temperaturas del otoño previo solo muestran relación significativa y negativa localmente en una cronología (Figura 4b).

OTOÑO DEL AÑO PREVIO

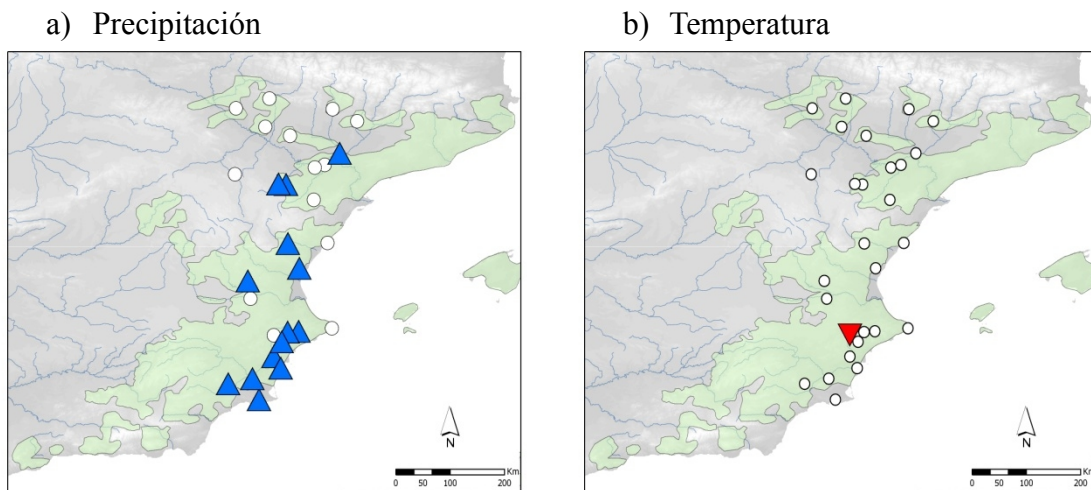


Fig. 4: Correlación entre crecimiento anual de los árboles y las condiciones climáticas del otoño previo. Los símbolos triangulares indican la existencia de una correlación positiva significativa, los triangulares invertidos indican la existencia de una correlación negativa significativa y los símbolos circulares indican ausencia de correlación significativa al 95% de confianza).

Inviernos con abundantes precipitaciones también se traducen en años con anomalías de crecimiento positivo en prácticamente toda la red dendroconológica, con la excepción de los lugares más fríos situados más al norte (Figura 5a). El análisis a su vez detecta limitaciones en el crecimiento por frío invernal en las localizaciones más al norte y por el contrario, limitaciones por calor invernal en las localizaciones costeras más al sur (Figura 5b).

INVIERNO

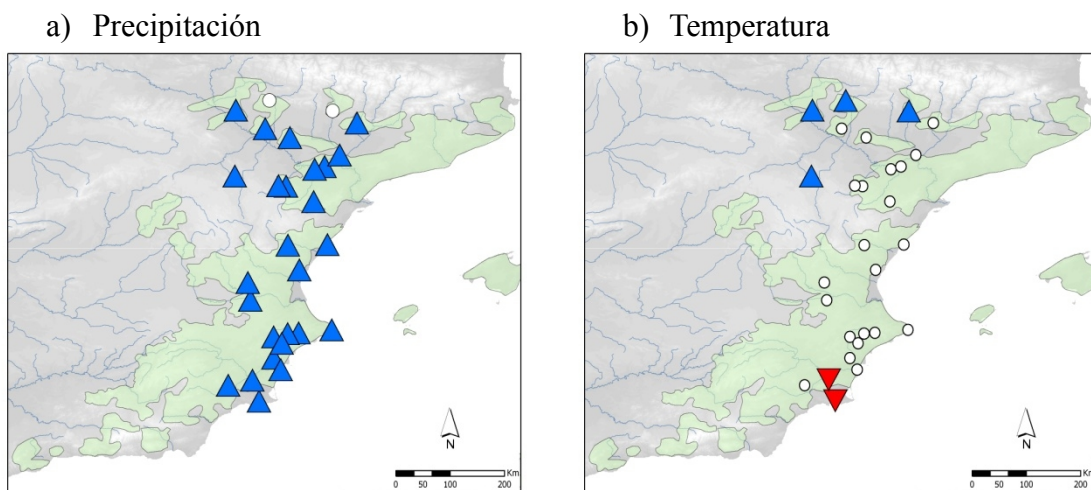


Fig. 5: *Idem* que Fig 4 (invierno)

Las precipitaciones primaverales también se muestran positiva y significativamente correlacionadas con el crecimiento de *Pinus halepensis* en prácticamente todo el territorio. Por el contrario, sólo en una localidad, la situada mas al sur, se detecta una influencia significativa y de signo negativo de las temperaturas de primavera (Figura 6).

PRIMAVERA

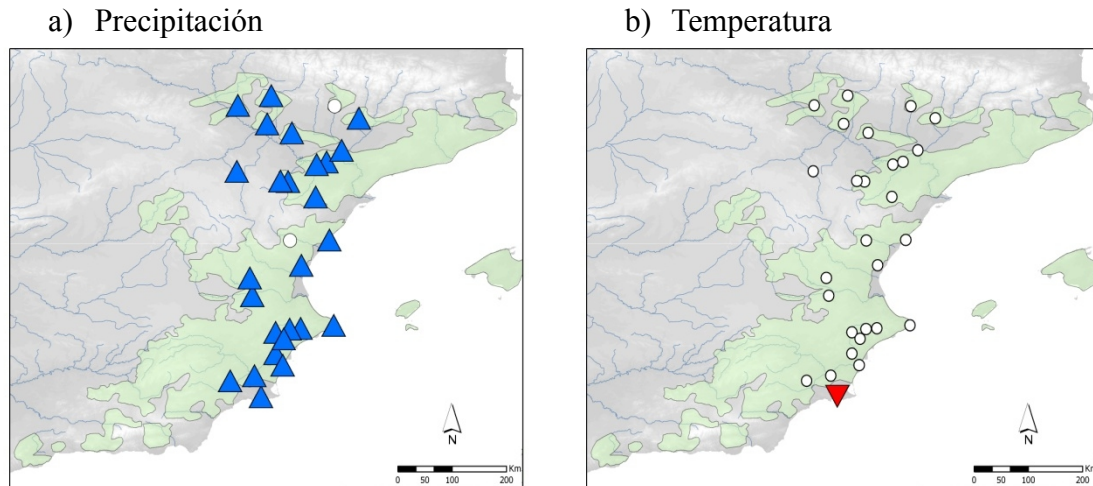


Fig. 6: *Idem* que Fig 4 (primavera)

El análisis demuestra que las precipitaciones del verano también juegan un papel significativo en el crecimiento de esta especie en prácticamente todo el territorio. A su vez, se detecta también un amplio sector localizado al norte del área de distribución de la especie en la que en los años con temperaturas veraniegas por encima de la media el crecimiento se ve reducido (Figura 7).

VERANO

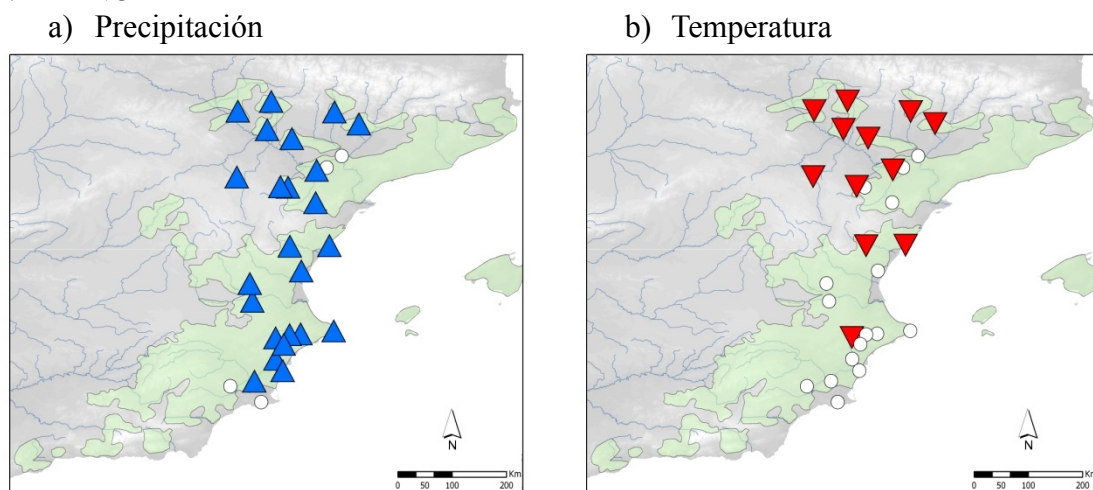


Fig. 7: *Idem* que Fig 4 (verano)

Con la excepción de localizaciones aisladas, las condiciones climáticas del otoño, tanto en lo relativo a las precipitaciones como a las temperaturas, no parecen jugar un papel decisivo en el crecimiento anual de los árboles en el conjunto del área de estudio (Figura 8).

OTOÑO

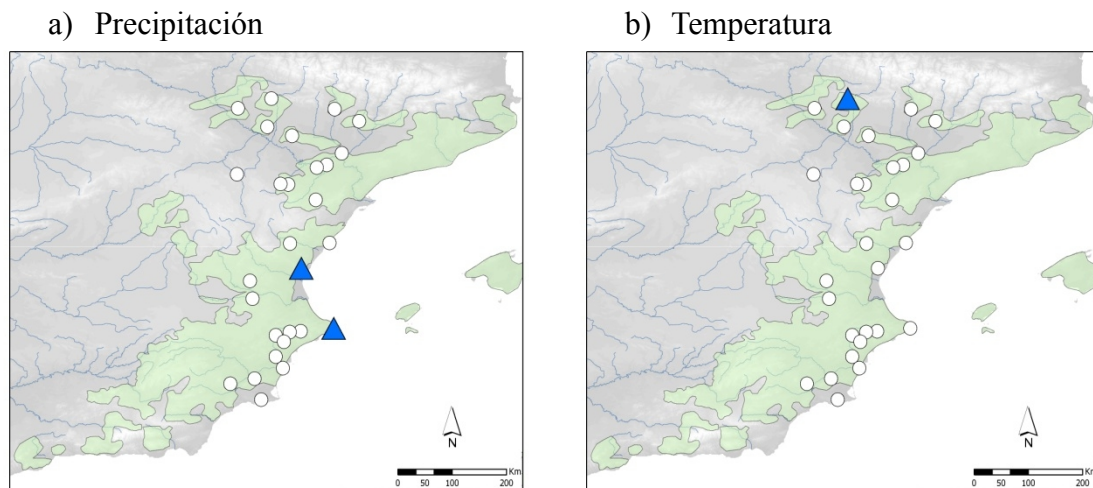


Fig. 8: *Idem* que Fig 4 (otoño)

5. DISCUSIÓN

Dada su amplia presencia y su importancia ecológica, *Pinus halepensis* Mill. es una especie relativamente bien estudiada desde diferentes puntos de vista (ver revisiones en RICHARDSON, 1998; NE'EMAN y TRABAUD, 2000). Sin embargo, y en términos comparativos los estudios encaminados a determinar cuál es la influencia de la variabilidad climática en la dinámica de crecimiento de esta especie son aún escasos.

La dendroclimatología en zonas del Mediterráneo se encuentra limitada en muchas ocasiones por las dificultades en la datación de los anillos de crecimiento. Esto es debido en parte a que en las zonas de clima mediterráneo la actividad vegetal no está siempre asociada a los periodos regulares de dormancia. En esta línea se han descrito, para años o en ambientes concretos, alteraciones del crecimiento que van desde, la inexistencia de un verdadero periodo de dormancia invernal (OPPENHEIMER, 1945; LIPHSCHITZ *et al.* 1984) hasta la ausencia del anillo correspondiente en años concretos como consecuencia de sequías prolongadas (RAVENTÓS *et al.*, 2001; 2004). Otro fenómeno descrito repetidas veces en los ambientes Mediterráneos es el denominado “doble estrés” caracterizado por una doble parada en el crecimiento anual impuesta por un lado por el frío invernal y por otro lado por la sequía estival (LEV-YADUN, 2000; CHERUBINI *et al.*, 2003; DE LUIS *et al.*, 2007; CAMARERO *et al.*, 2010).

A través, de la construcción y análisis de una red compuesta de 28 cronologías de *Pinus halepensis* en el arco Mediterráneo peninsular, nuestros resultados confirman que la elevada variabilidad de los climas Mediterráneos se manifiesta también en una elevada variabilidad tanto en lo relativo a los factores climáticos que determinan el crecimiento de las masas forestales como en la intensidad con que estas influencias se ponen de manifiesto. Así, nuestros resultados demuestran que *Pinus halepensis* es una especie cuyo crecimiento es altamente sensible a la variabilidad climática siendo de un modo general especialmente sensible a la dinámica de las precipitaciones aunque también a las de las temperaturas. A su vez, nuestros resultados confirman la gran plasticidad anteriormente reseñada de esta especie para adaptar su ritmo de crecimiento a las condiciones ambientales y especialmente en su

capacidad para hacer un uso eficiente de las precipitaciones cualquiera que sea el momento de año en que estas se produzcan.

En este sentido, las precipitaciones tanto de invierno como de primavera se manifiestan como elementos clave en gran parte del territorio, pero las de verano y otoño pueden serlo también en determinados ambientes. A su vez, de un modo general, variaciones en las temperaturas son menos determinantes aunque pueden ser importantes localmente principalmente ligadas a limitaciones en el crecimiento por frío invernal en algunos sectores y por calor estival en otros.

Esta variabilidad en cuanto a las respuestas dendrocronológicas tiene importantes implicaciones en cuanto al potencial de esta especie para ser usada para la realización de reconstrucciones climáticas. A su vez, en la medida de que las relaciones clima-crecimiento varían en el espacio en función de los gradientes climáticos existentes, cabe esperar que estas mismas relaciones estén sujetas a variaciones en el futuro. En este sentido, el conocimiento de cómo pueden ser estas relaciones ante diferentes escenarios de cambio climático es el elemento clave para determinar cuál puede ser el impacto del cambio del clima en la dinámica de especies importantes desde un punto de vista ecológico y socioeconómico como es el caso de *Pinus halepensis*.

Para dar respuesta a este reto, es necesario disponer tanto de redes dendrocronológicas lo más densas posibles como de información climática de alta calidad y resolución espacial y temporal a lo largo del conjunto del área de distribución de las especies. Sólo de esta manera será posible determinar en qué medida las relaciones clima-crecimiento son variables en el espacio en función de los gradientes climáticos y en qué medida y cantidad estas relaciones pueden verse modificadas ante diferentes escenarios de cambio climático.

6. AGRADECIMIENTOS

Ministerio Ciencia y Tecnología (Proyecto CGL2008-05112-C02 y Gobierno de Aragón (Grupo de Investigación “Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales, BOA 69, 11-06-2007).

7. REFERENCIAS

- BARBÉRO, M., LOISEL, R., QUÉZEL, P., RICHARDSON, D.M. y ROMANE, F. (1998). Pines of the Mediterranean Basin. In: Ecology and Biogeography of *Pinus* (ed RICHARDSON DM), pp. 153-170. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- CAMARERO, J.J., OLANO, J.M. y PARRAS, A. (2010). “Plastic bimodal xylogenesis in conifers from continental Mediterranean climates”. *New Phytologists* 185, pp: 471-480.
- CAMARERO, J.J. y GUTIERREZ, E. (2004). “Pace and pattern of recent tree-line dynamics: Response of ecotones to climatic variability in the Spanish Pyrenees”. *Climatic Change*, 63, pp:181-200.
- CREUS, J. y PUIGDEFÁBREGAS, J. (1976). “Climatología histórica y dendrocronología de *Pinus uncinata* R. *Cuadernos de Investigación*, 2, pp:17-30
- CHERUBINI, P., GARTNER, B.L., TOGNETTI, R., BRÄKER, O.U., SCHOCH, W. y INNES J.L. (2003). “Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates.” *Biological Review* 78, pp: 119-148.

- DE LUIS, M., GRIČAR, J., ČUFAR, K. y RAVENTÓS, J. (2007). "Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain". *IAWA Journal* 28, pp: 389-404.
- DEL BARRIO, G., CREUS, J. & PUIGDEFABREGAS, J. (1990) "Thermal Seasonality of the High Mountain Belts of the Pyrenees". *Mountain Research and Development*, 10, pp:227-233.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C., BRUNETTI, M. y DE LUIS, M. (2010). "A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945-November 2005)". *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.2115
- HOLMES, R.L. (1992) *Dendrochronology Program User's Manual*. Tucson, AZ. Laboratory of Tree-Ring Research.
- LEV-YADUN, S. (2000). *Wood structure and the ecology of annual growth ring formation in Pinus halepensis and P.brutia*. Ecology, Biogeography and management of *Pinus halepensis* and *P.brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Ed: G. NE'EMAN y L. TRABAUD. 67-78.
- LIPHSCHITZ, N., LEV-YADUN, S., ROSEN, E. y WAISEL, Y. (1984). "The annual rhythm of activity of the lateral meristems (cambium and phellogen) in *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinea* L. *IAWA Bulletin* 5, 263-274.
- MITCHELL, T.D., CARTER, T.R., JONES, P.D., HULME, M. y NEW, M. (2004) "A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100)". *Tyndall Center Working Paper*, 55, 1-30.
- NE'EMAN, G. y TRABAUD, L. (2000). *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Backhuys, Leiden, The Netherlands.
- OPPENHEIMER, H.R. (1945). "Cambial wood production in stems of *Pinus halepensis*." *Palestinian Journal of Botany* 5, pp: 22-51.
- PEÑUELAS, J. y BOADA, M. (2003). "A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)". *Global Change Biology* 9, pp: 131-140.
- QUÉZEL, P. (2000) Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinus halepensis* and *P. brutia*). In: *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin* (eds Ne'eman G, Trabaud L), pp. 1-12. Backhuys, Leiden, The Netherlands.
- RAVENTÓS, J., DE LUÍS, M., DORADO, I. y GRAS, M.J. (2004): *Dendroecology on East Spain Mediterranean inland/coast gradient: Tree ring anomalies on Pinus halepensis*. Proceedings 10th MEDECOS Conf. In: ARIANOUTSOU and PAPANASTASIS (eds.). Millpress Science Publishers. Róterdam. Pp: 1-6.
- RAVENTÓS, J., DE LUÍS, M., GRAS, M.J., ČUFAR, K., GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C., BONET, A. y SÁNCHEZ, J.R. (2001): "Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean semiarid ecosystem." *Dendrochronologia* 19, pp: 211-220.
- RICHARDSON, D.M., RUNDEL, P.W. (1998) .Ecology and Biogeography of *Pinus*: an introduction. In: *Ecology and Biogeography of Pinus* (ed Richardson DM), pp. 3-46. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- RICHARDSON, D.M. (1998) .Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press, 527 pp., Cambridge, UK, 3-46 pp.
- TARDIF, J., CAMARERO, J.J., RIBAS, M. y GUTIERREZ, E. (2003). "Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: Climatic and site influences." *Ecological Monographs*, 73, pp: 241-257.