

IDENTIFICACIÓN DE LA INFLUENCIA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO SECUNDARIO DEL *PINUS HALEPENSIS* MILL. A PARTIR DEL ESTUDIO DE LA MADERA TEMPRANA Y TARDÍA

Klemen NOVAK¹, Edurne MARTÍNEZ DEL CASTILLO¹, Miguel Ángel SAZ SÁNCHEZ¹, Luis Alberto LONGARES ALADRÉN¹, Josep RAVENTÓS BONVEHÍ², Roberto SERRANO NOTIVOLI^{3,1} Martín DE LUIS ARRILLAGA^{1*}

¹Universidad de Zaragoza, Spain; ²Universidad de Alicante, Spain; ³Estación Experimental de Aula Dei, Spain *mdla@unizar. es

RESUMEN

Una de las características específicas del *Pinus halepensis* Mill. es la plasticidad fenológica que ofrece su crecimiento, manifestada en dos ciclos anuales de carácter equinoccial. Los estudios dendroclimáticos tradicionales identifican la relación entre el clima y el crecimiento de esta especie a partir del grosor anual del anillo, método que puede enmascarar las diferencias en la respuesta del árbol frente a las condiciones térmicas y pluviométricas en esos dos periodos. El objetivo del trabajo que aquí presentamos es el de analizar si a partir del análisis del grosor de la madera temprana (earlywood) y la madera tardía (latewood) de los anillos de crecimiento anual del *P. halepensis* pueden detectarse respuestas diferenciales de la especie frente al clima en cada uno de esos periodos fundamentales de su crecimiento. Para ello se dispone de 28 cronologías localizadas en la vertiente mediterránea que cubren la práctica totalidad del rango climático de distribución natural de *P. halepensis* en España, un rango amplio en razón de la plasticidad ecológica antes señalada.

Palabras clave: dendroclimatología, *Pinus halepensis* Mill., relaciones clima-crecimiento, madera temprana, madera tardía.

ABSTRACT

The phenological plasticity in tree growth is recognized to be one of the characteristics of *Pinus halepensis* Mill., which growth may be divided in two annual cycles. The traditional dendroclimatic studies usually identify the relationship between climate and growth of this species from the annual tree-ring widths which may hide different influences of different climate elements over these two periods. The objective of the present study is to determine the influence of seasonal climatic conditions on earlywood and latewood, and to find out if such seasonal information derived from annual tree rings can give us a better interpretation and identification of climate-growth relationships on the seasonal scale in *P. halepensis*. For this purpose we used 28 chronologies from the Mediterranean area covering almost all the climatic range of natural distribution of *P. halepensis* in Spain, a wide range because of the aforementioned ecological plasticity.

Keywords: dendroclimatology, *Pinus halepensis* Mill., climate-growth relationship, earlywood, latewood.

1. INTRODUCCIÓN

La información climática en España ofrece una situación paradójica. La red del Instituto Nacional de Meteorología incluye más de 10. 000 observatorios que producen un grado de cubrimiento espacial

extraordinario, pero sin embargo, dicha información se encuentra extraordinariamente fragmentada debido a la recolocación histórica de los observatorios lo que provoca la práctica inexistencia de observatorios con registros continuos durante largos periodos de tiempo (GONZÁLEZ-HIDALGO et al., 2011; EL KENAWY et al., 2011).

En consecuencia el propio proceso de reconstrucción y creación de bases de datos climáticas homogéneas ha representado una de las líneas de trabajo prioritarias en la climatología española de los últimos años (VICENTE-SERRANO et al., 2010; BRUNET et al., 2006; EL KENAWY et al., 2011; VENEMA et al., 2012). Fruto de este trabajo y del desarrollo y puesta en común de diferentes protocolos metodológicos (VENEMA et al., 2012), en el momento actual en la península Ibérica existen diversas bases de datos de gran calidad y densidad espacial que han permitido realizar una caracterización detallada de la evolución de los valores medios del clima de la península Ibérica desde al menos la segunda mitad del siglo XX (GONZÁLEZ-ROUCO et al., 2001; FERNÁNDEZ-MONTES y RODRIGO, 2011; BRUNET et al., 2011; GONZÁLEZ-HIDALGO et al., 2011).

En el caso de las precipitaciones, el análisis de la base de datos MOPREDAS ha permitido caracterizar de forma detallada las tendencias pluviométricas en la península ibérica (DE LUIS et al., 2010a; GONZÁLEZ-HIDALGO et al., 2011). De su análisis se constata la existencia de una elevada variabilidad espacial en las mismas así como la existencia de tendencias divergentes en los totales de precipitación a escala estacional.

La existencia y calidad de los datos instrumentales, sin embargo disminuye considerablemente cuando nos remontamos a periodos anteriores a 1945 y como consecuencia dichos resultados quedan restringidos al periodo 1945-2005 lo que limita la interpretación de dichas tendencias en el largo plazo. La reconstrucción de series de precipitación para periodos más largos de tiempo es un objetivo prioritario para mejorar el conocimiento del clima peninsular en el contexto del cambio del clima.

La dendrocronología, supone una herramienta de gran utilidad en este proceso. En esta dirección, 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 (TARDIF et al., 2003; CAMARERO y GUTIÉRREZ, 2004). Por estas razones, pocas de esas cronologías existentes han sido obtenidas en el arco mediterráneo español.

A su vez, y dada la extraordinaria variabilidad de la dinámica de las precipitaciones peninsulares, este proceso de reconstrucción exige la existencia de “proxies” climáticos que por un lado estén disponibles en un amplio rango de condiciones ambientales y que de esa manera sean capaces de representar la elevada variabilidad espacial de las precipitaciones. Por otro lado, y dada las divergencias observadas en las tendencias de precipitación a escala estacional, sería deseable que dichos “proxies” permitan la reconstrucción del clima a esa escala temporal y no se restrinjan a una escala anual.

Entre las diferentes especies presentes en el ámbito mediterráneo, 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 *P. halepensis* es una constante a 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). A su vez, diferentes estudios con esta especie ha dado buenos resultados marcando una señal muy clara en la relación entre el grosor de los anillos de crecimiento anual y el total de precipitaciones durante la estación de crecimiento (TOUCHAN et al., 2005; DE LUIS et al., 2010b; PASHO et al., 2011ab, 2012).

Diferentes estudios xilogenéticos demuestran que *P. halepensis* presenta un patrón bimodal de crecimiento con una fase inicial que puede comenzar en marzo y que se extiende hasta el comienzo del verano, un parón estival y una segunda fase en otoño en la que el árbol puede retomar su actividad (DE LUIS et al., 2007; CAMARERO et al., 2010; DE LUIS et al., 2011). Morfológicamente la

madera que se forma en ambos periodos difiere (madera de primavera o temprana con celular más grandes y menor proporción de pared celular y madera de verano-otoño o madera tardía con celular de menor tamaño y con una mayor proporción de pared celular).

En este trabajo exploramos en que medida el uso de series de crecimiento de madera temprana y tardía de forma independiente puede representar un avance en la identificación de señales de precipitación estacional y por lo tanto pueden ser usados para reconstrucciones climáticas de escala estacional. Con este objetivo hemos usado las 28 cronologías de que disponemos (DE LUIS et al., 2010b) diferenciando en cada caso el grosor de la madera temprana y la madera tardía al objeto de determinar: a) si existen elementos diferenciales del clima que determinan su grosor; b) si estos elementos climáticos diferenciales pueden ser identificados de forma homogénea a lo largo del área de distribución de la especie.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La red dendrocronológica disponible procede de 28 bosques de *P. 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.

El grosor de porción de madera temprana (EW) madera tardía (LW) de cada uno de esos anillos fue medido con una precisión de 0,01 mm en una mesa de medición LINTAB™5 usando el programa TSAP-Win Scientific. Posteriormente, 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 “cubic splines” de 30 años de frecuencia. Como paso final, realizamos una modelización auto regresiva 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).

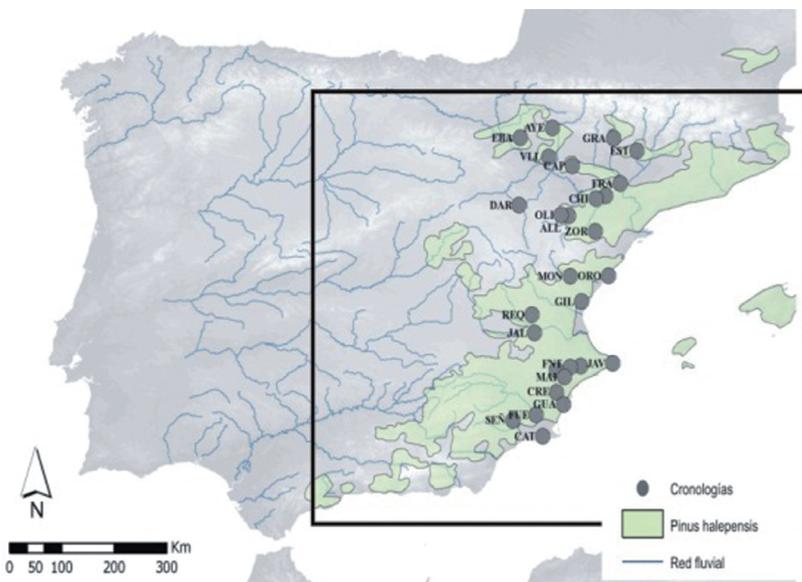


FIG. 1: Mapa de localización de la red dendrocronológica de *Pinus halepensis* Mill.

La identificación de las variables del clima que condicionan la dinámica de crecimiento de las porciones de EW y LW de *P. halepensis* en cada uno de las zonas muestreadas se realizó a través de análisis de correlaciones simples, en el que las cronologías residuales obtenidas actúan 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) 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). El análisis se realizó para el periodo común 1945-2000.

3. RESULTADOS

Señal climática en la madera temprana (EW)

A lo largo de la red dendrocronológica analizada, la formación de madera temprana (EW) se ve de un modo general influenciado de forma positiva por las precipitaciones de invierno, primavera y verano (Figura 2a). La intensidad de esta señal pese a mostrar un cierto grado de variabilidad espacial, es significativa en prácticamente todas las localidades estudiadas (Figura 3).

La variabilidad en las temperaturas de verano también se manifiestan determinantes en el crecimiento de la madera temprana de *P. halepensis* (Figura 2b) aunque en este caso, su influencia varía notablemente en las diferentes localidades estudiadas. Así, en los sectores más al norte del área de distribución peninsular de *P. halepensis*, años con temperaturas elevadas durante el invierno y frescas durante el verano favorecen el crecimiento de la madera temprana (Figura 4). Por el contrario, en los sectores más al sur, las temperaturas altas invernales ejercen una influencia de signo contrario, limitando el crecimiento. A su vez, aunque también con efecto negativo, las temperaturas estivales elevadas ejercen una menor influencia en el crecimiento de la madera temprana de la especie (Figura 4).

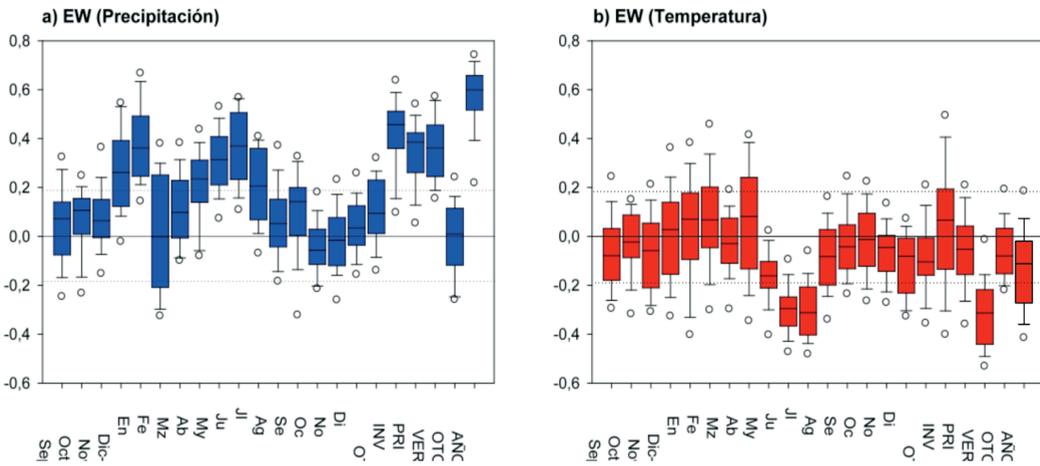


FIG. 2: Diagrama de caja (box-plot) mostrando los coeficientes de correlación entre las cronologías residuales de madera temprana (EW) y las series precipitación y temperatura mensuales, estacionales y anuales en el conjunto de la red dendrocronológica. La línea horizontal central dentro de las cajas 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.

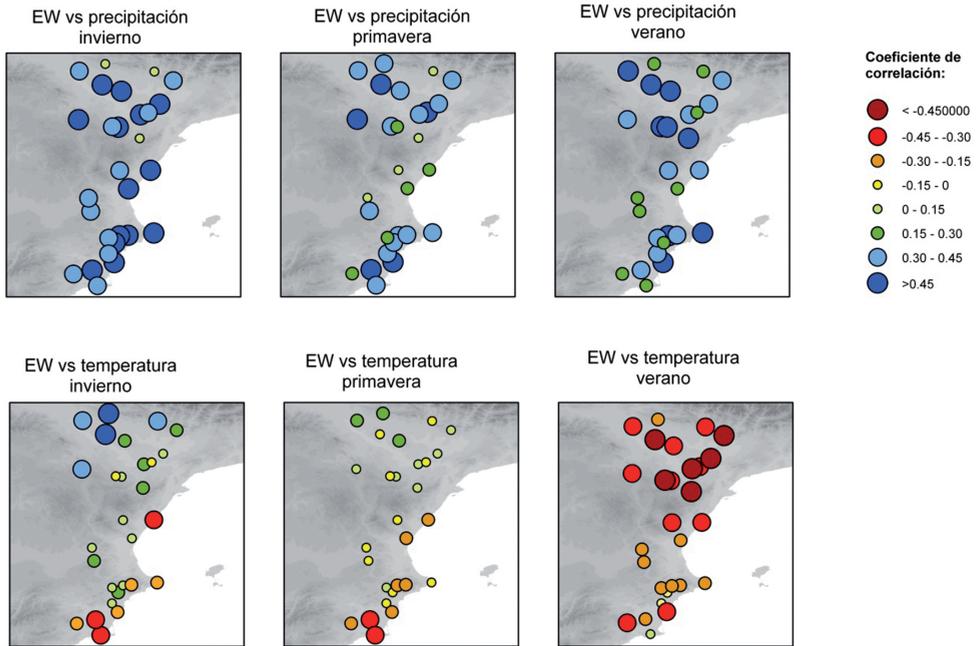


FIG. 3: Distribución espacial de los coeficiente de correlacion observados entre el crecimiento de la madera temprana (EW) de *P. halepensis* y las condiciones climáticas de diferentes elementos del clima.

Señal climática en la madera tardía (LW)

El crecimiento de la madera tardía de *P. halepensis* se ve afectado por la influencia de la variabilidad climática de los meses de julio y agosto y especialmente por las condiciones de precipitación de septiembre y del conjunto del otoño (Figura 5). La intensidad de esta señal también muestra un patrón geográfico contrastado siendo la influencia de las precipitaciones de otoño más intensa en los sectores más al sur del área de distribución de la especie (Figura 6).

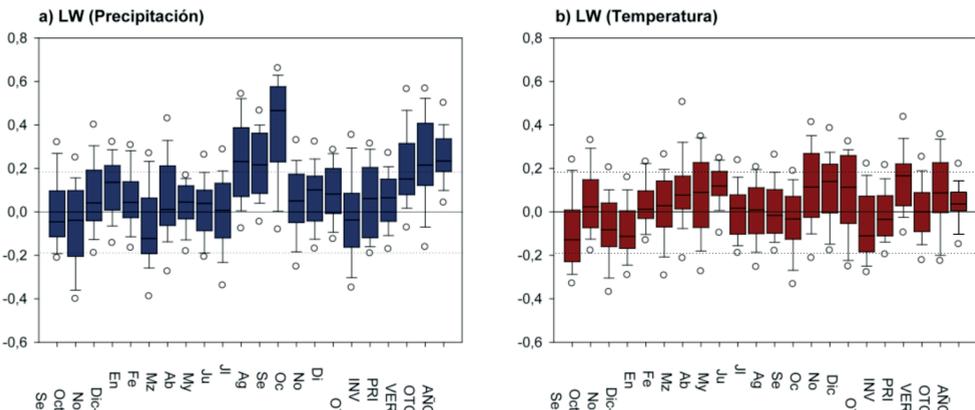


FIG. 4: Diagrama de caja (box-plot) mostrando los coeficientes de correlación entre las cronologías residuales de madera temprana (EW) y las series precipitación y temperatura mensuales y anuales en el conjunto de la red dendrocronológica. La línea horizontal central dentro de las cajas representa la 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.

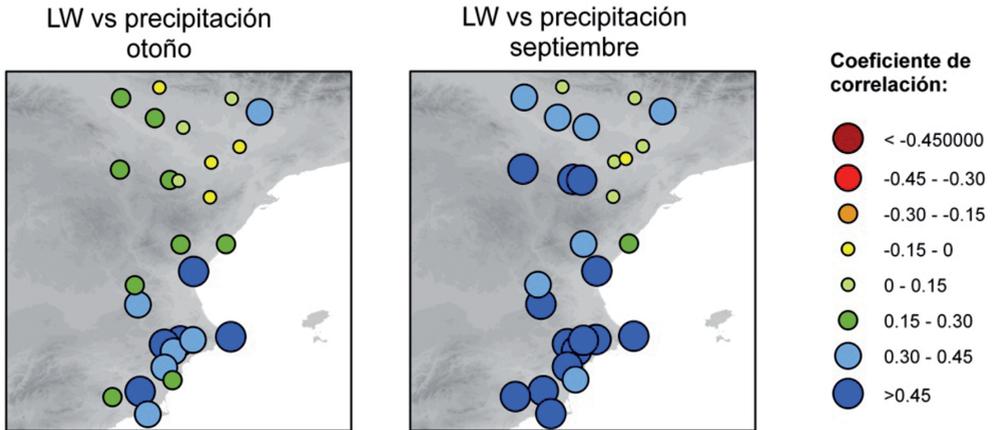


FIG. 5: Distribución espacial de los coeficiente de correlación observados entre el crecimiento de la madera tardía (LW) de *P. halepensis* y las condiciones climáticas de diferentes elementos del clima.

4. DISCUSIÓN

Diferentes estudios en diferentes especies han puesto de manifiesto que la información combinada de diferentes caracteres interanuales contenidos en los anillos de crecimiento puede aportar una mejor interpretación de cuáles son los elementos del clima que condicionan la dinámica de crecimiento de las especies y en consecuencia pueden también ser usados como “proxies” tanto en la reconstrucción de diferentes elemento del clima como en la predicción de los potenciales impactos del cambio del clima en la dinámica de las especies forestales (WIMMER y GRABNER, 1997; WIMMER et al. 2000; BATTIPAGLIA et al., 2010; CAMPELO et al., 2010; DE LUIS et al., 2011).

Nuestro estudio usando una red densa de cronologías de *P. halepensis* para la península ibérica, demuestra que la información contenida en diferentes porciones de los anillos de crecimiento (madera temprana y madera tardía) es altamente sensible a la variabilidad climática. A su vez, nuestro trabajo también demuestra que el grosor de la madera temprana y madera tardía esta principalmente condicionado por las condiciones climáticas que ocurren durante su proceso de formación. Por lo tanto, y en contra de lo tradicionalmente descrito en coníferas que crecen a elevadas altitudes, no existen substanciales retardos entre los elementos climáticos que promueven el crecimiento radial de los árboles y el propio proceso de crecimiento (CAMARERO et al., 1998)

Nuestros resultados reflejan sin embargo que la intensidad de la señal climática varía notablemente a lo largo del área de distribución de *P. halepensis* y por lo tanto presenta limitaciones para poder ser considerados como “proxies” adecuados para reconstrucciones climáticas de escala regional.

De un modo general, la información climática inferible a través del análisis de la madera temprana ofrece una señal estable y uniforme en cuanto a la dinámica de las precipitaciones de invierno, primavera y verano a lo largo de toda el área de distribución de la especie. La influencia de las temperaturas muestra sin embargo un claro gradiente norte-sur sugiriendo que en los sectores más fríos del norte el crecimiento de primavera y verano de los arboles está limitado por las condiciones de frío invernal mientras que en los sectores más al sur las propias temperaturas de invierno-primavera son ya lo suficientemente elevadas para condicionar el crecimiento.

La señal climática diferenciada que se obtiene al analizar la porción de madera tardía de los árboles (LW) refleja ese carácter plástico y bimodal que ha sido descrito a través de estudios xilogenéticos en *P. halepensis* (DE LUIS et al., 2007, 2011; CAMARERO et al., 2010). Nuestros resultados sugieren que esa bimodalidad (parada estival y segundo ciclo de crecimiento en otoño) se produce promovida por condiciones húmedas en septiembre ante las cuales, *P. halepensis* es capaz

de generar un segundo periodo de crecimiento anual que se traduce en una continuación en la formación de madera tardía. Los resultados sugieren a su vez, que esta bimodalidad se manifiesta de forma más acusada en los sectores más cálidos del sur del área de distribución de la especie.

5. CONCLUSIONES

El análisis de diferentes caracteres intra-anales de la madera se manifiesta como una línea de trabajo prometedora para la identificación de señales climáticas de carácter intra-anual. Un análisis más detallado que considere no solo la señal individualizada atribuible a las variables climáticas mensuales sino una combinación de las mismas a través de índices climáticos o el uso de diferentes índices de circulación permitirán en futuros trabajos evaluar su potencial uso como proxy en el proceso de reconstrucción. A su vez, y en el contexto del cambio del clima, nuestros resultados sugieren también que cualquier modificación, en los patrones estacionales de precipitación pueden alterar el ratio entre madera temprana y tardía de los arboles, alterándose así el equilibrio entre la capacidad para la conducción de agua, la estabilidad mecánica de la madera y su resistencia a la cavitación. Estas modificaciones pueden también jugar un papel importante en la alteración de la capacidad de aclimatación/adaptación de las propias especies a las condiciones climáticas futuras.

Agradecimientos

Ministerio Ciencia y Tecnología (Proyecto CGL2008-05112-C02), DGA-La Caixa, (Proyecto: GA-LC-031/2010); Gobierno de Aragón (Grupo de Investigación "Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales, BOA 69, 11-06-2007).

REFERENCIAS

- Barbéro, M., Loisel, R., Quézel, P., Richardson, D. M., Romane, F. (1998). Pines of the Mediterranean Basin. En: Ecology and Biogeography of *Pinus* (ed Richardson DM), pp. 153-170. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Battipaglia G., De Micco, V., Brand, W. A., Linke, P., Aronne, G., Saurer, M., Cherubini, P. (2010). Variations of vessel diameter and $\delta^{13}C$ in false rings of *Arbutus unedo* L. reflect different environmental conditions. *New Phyt.* 188: 1099–1112.
- Brunet, M., Saladié, O., Jones, P., Sigró, J., Aguilar, E., Moberg, A., Lister, D., Walther, A., Lopez, D., Almarza, C. (2006). The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS) (1850–2003). *Int. J. of Climatol.* 26:1777-1802.
- Brunet M., Asin, J., Sigro, J., Bañon, M., García, F., Aguilar, E., Palenzuela, J. E., Peterson, T. C., Jones, P. (2011). The minimization of the screen bias from ancient Western Mediterranean air temperature records: an exploratory statistical analysis. *Int. J. Climatol.* 31: 1879–1895.
- Camarero, J. J., Guerrero-Campo, J., Gutiérrez, E. (1998). Tree-ring growth and structure of *Pinus uncinata* and *Pinus sylvestris* in the Central Spanish Pyrenees. *Arc. and Alp. Res.* 30: 1-10.
- Camarero, J. J., Olano, J. M., Parras, A. (2010). Plastic bimodal xylogenesis in conifers from continental Mediterranean climates. *NewPhyt.* 185: 471-480.
- Camarero, J. J., Gutiérrez, E. (2004). Pace and pattern of recent treeline dynamics: Response of ecotones to climatic variability in the Spanish Pyrenees. *Climatic Change* 63, 181-2000.
- Campelo, F., Nabais, C., Gutiérrez, E., Freitas, H., García-González, I. (2010). Vessel features of *Quercus ilex* L. growing under Mediterranean climate have a better climatic signal than tree-ring width. *Trees* 24: 463–470.
- De Luis, M., Griar, J., ufar, K., Raventós, J. (2007). Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. *IWA Journal* 28:389-404.
- De Luis, M., Brunetti, M., González-Hidalgo, J. C., Longares, L. A., Martín-Vide, J. (2010a). Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946–2005. *Global and Planetary Change* 74: 27-33.
- De Luis, M., Saz, M. A., Novak, K., Longares, L. A., Raventós, J. (2010b). Creación y análisis de una red dendroclimática de *Pinus halepensis* Mill. en el ámbito mediterráneo. Páginas 367-378. En Fernández-García, F., Gallan-Gallego, E., Cañada-Torrecilla R. Clima ciudad y ecosistemas. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, nº 7., Madrid.

- De Luis, M., Novak, K., Raventós, J., Griar, J., Prislán, P., Ufar, K. (2011). Climate factors promoting intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) from semiarid sites. *Dendrochronologia* 29: 163-169.
- El Kenawy, A., Lopez-Moreno, J. I., Stepanek, P., Vicente-Serrano, S. M. (2011). An assessment of the role of homogenization protocol in the performance of daily temperature series and trends: application to northeastern Spain. *Int. J. Climatol.* DOI: 10. 1002/joc. 3410.
- Fernández-Montes, S., Rodrigo, F. S. (2011). Trends in seasonal indices of daily temperature extremes in the Iberian Peninsula, 1929–2005. *Int. J. Climatol.* DOI: 10. 1002/joc. 3399.
- González-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., de Luis, M. (2011). A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005). *Int. J. Climatol.* 31: 715-731.
- González-Rouco, J. F., J. L. Jimenez, V. Quesada, F. Valero. 2001. Quality control and homogeneity of precipitation data in the southwest of Europe. *J. of Climate* 14:964-978.
- Holmes, R. L. (1992). Dendrochronology Program User's Manual. Tucson, AZ. Laboratory of Tree-Ring Research.
- Mitchell, T. D., Carter, T. R., Jones, P. D., Hulme, M., 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.
- Pasho E., Camarero, J. J., de Luis, M., Vicente-Serrano, S. M. (2011). Impacts of drought at different time scales on forest growth across a wide climatic gradient in north-eastern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* 151:1800-1811.
- (2011). Spatial variability in large-scale and regional atmospheric drivers of *Pinus halepensis* growth in eastern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 1106-1119.
- (2012). Factors driving growth responses to drought in Mediterranean forests. *European Journal of Forest Research* (DOI 10. 1007/s10342-012-0633-6).
- Peñuelas, J., Boada, M. (2003). A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* 9: 131-140.
- Quézel, P. (2000). Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (*Pinushalepensis* and *P. brutia*). In: Ecology, Biogeography and Management of *Pinushalepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin (eds. Ne'eman G, Trabaud L), pp. 1-12. Backhuys, Leiden, The Netherlands.
- Tardif, J., Camarero, J. J., Ribas, M., Gutiérrez, E. (2003). Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: Climatic and site influences. *Ecological Monographs* 73: 241-257.
- Touchan, R., Funkhouser, G., Hughes, M. K., Erkan, N. (2005). Standardized precipitation index reconstructed from Turkish tree-ring widths. *Climatic Change* 72: 339-353.
- Venema V. K. C., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J. A., Domonkos, P., Vertacnik, G., Szentimrey, T., Stepanek, P., Zahradnick, P., Viarre, J., Müller-Westermeier, G., Lakatos, M., Williams, C. N., Menne, M. J., Lindau, R., Rasol, D., Rustemeier, E., Kolokythas, K., Marinova, T., Andresen, L., Acquaotta, F., Fratianni, S., Cheval, S., Klancar, M., Brunetti, M., Gruber, C., Prohom Duran, M., Likso, T., Esteban, P., Brandsma, T. (2012): Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *Clim. Past.* 8: 89-115.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., López-Moreno, J. I., García-Vera, M. A., Stepanek, P. (2010). A complete daily precipitation database for northeast Spain: reconstruction, quality control, and homogeneity. *Int. J. Climatol.* 30: 1146–1163.
- Wimmer, R., Grabner, M. (1997). Effects of climate on vertical resin duct density and radial growth of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst). *Trees* 11: 271-276.
- Wimmer R., Strumia, G., Holawe, F. (2000). Use of false rings in Austrian pine to reconstruct early growing season precipitation. *Can. J. of For. Res.* 30: 1691-1697.