

POTENCIAL DENDROCLIMÁTICO DE *PINUS HALEPENSIS*, *P. PINASTER*,
P. SYLVESTRIS, *P. NIGRA* Y *P. UNCINATA* EN EL SISTEMA IBÉRICO
TUROLENSE

Ernesto TEJEDOR⁽¹⁾, Martín DE LUIS⁽¹⁾, José María CUADRAT⁽¹⁾, Klemen
NOVAK⁽¹⁾, Edurne MARTINEZ⁽¹⁾, Roberto SERRANO⁽¹⁾, Luis Alberto
LONGARES⁽¹⁾, Mar GÉNOVA⁽²⁾, Miguel Ángel SAZ⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Instituto Universitario de
Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Universidad de Zaragoza*

⁽²⁾ *Departamento de Botánica y Producción Vegetal. Universidad Politécnica de
Madrid*

etejedor@unizar.es

RESUMEN

La tendencia reciente de los estudios dendroclimáticos es la utilización de un mayor número de muestras de crecimiento para mejorar la fase de estandarización y la conservación con ello de la señal de media y baja frecuencia. En este trabajo se presentan los primeros resultados para la reconstrucción del clima del Sistema Ibérico turoleño a partir de una amplia base de datos multiespecie, compuesta por un total de 561 muestras procedentes del ITRDB (25.84%), de proyectos desarrollados en los años 80-90 desde el IPE-CSIC (17.29%) y de las extraídas por los firmantes de la comunicación en los años 2012 y 2013 (56.86%). Estas muestras se han agrupado en distintas cronologías y se han calibrado con información termopluviométrica procedente de la base de datos Spain02vs2. Los resultados muestran el potencial de esta colección multiespecie de datos dendrocronológicos para la reconstrucción de la precipitación de verano, pero también las limitaciones inherentes a la estandarización, una agrupación subjetiva de las muestras para construir las cronologías y la inexistencia de información climática instrumental en zonas elevadas.

Palabras clave: Dendroclimatología, *Pinus sp.*, estandarización, relación clima-crecimiento.

ABSTRACT

The recent trend of dendroclimatic studies is the use of a greater number of samples of tree growth in order to improve the standardization phase and thereby the conservation of the medium and low frequency signal. This paper presents the first results for the reconstruction of the climate of the Teruel Iberian Range from a great multi-species database, composed of a total of 561 samples from the ITRDB (25.84%) of projects developed in the years 80-90 from the IPE-CSIC (17.29%) and the extracted by the signatories of the communication in 2012 and 2013 (56.86%). These samples have been grouped in different chronologies and have been calibrated with information coming from the Spain02vs2 climate database. The results show the potential of this multi-species dendrochronological collection for the reconstruction of the summer precipitation, but also the limitations inherent to the standardization, a subjective grouping of samples to build the chronologies and the absence of instrumental climate information in height,

Key words: Dendroclimatology, *Pinus sp.*, standardization, climate-growth relationship

1. INTRODUCCIÓN

En el actual contexto de cambio climático en el que los escenarios futuros muestran incrementos en la temperatura y en el número de fenómenos extremos, es particularmente importante conocer cómo ha sido la evolución del clima pasado con el objetivo de determinar con mayor precisión los eventos extremos como las sequías o las inundaciones. Conocer no solo la magnitud sino también la recurrencia de estos fenómenos en el pasado nos permitirá estudiar su evolución, permitiendo identificar posibles ciclos o patrones, para poder afrontar las posibles consecuencias medio ambientales y sociales en el futuro.

La existencia de información climática instrumental de calidad en España se encuentra limitada por la ausencia de estaciones meteorológicas hasta mediados del siglo XX. Es a partir de entonces cuando se crea una red de estaciones generalizada para todo el territorio español, aunque con un gran déficit de estaciones por encima de los 1.000 m.s.n.m. (González-Hidalgo et al., 2011). Es por tanto, esta falta de datos climáticos homogéneos y continuos la que nos hace recurrir a otras fuentes denominadas *proxy data*, como los árboles centenarios, que nos permitan obtener información continua y prolongada en el tiempo. La reconstrucción climática mediante la dendroclimatología desempeñan un papel destacado en el conocimiento de patrones espaciales de cambio climático (Cook et al. 2003). El estudio de la evolución climática mediante la dendroclimatología nos permite identificar la influencia natural y antropogénica en los cambios de temperatura. En Europa, se ha avanzado de manera destacada en reconstrucciones climáticas de los últimas centurias (Jacobeit et al. 2003) mediante información *multiproxy*, incluyendo el análisis de datos instrumentales, de documentos históricos (Brazdil 1996), y el estudio de los anillos de los árboles (Briffa et al. 2002). Sin embargo, no se ha realizado una reconstrucción climática para el Sistema Ibérico que conserve los ciclos de media y alta frecuencia para poder comparar el reciente calentamiento global en un contexto más largo que incluya el periodo Óptimo Medieval, o la Pequeña Edad de Hielo. La falta de reconstrucciones climáticas en el Sistema Ibérico se debe a la relativa falta de árboles longevos, debido a la continua explotación maderera a lo largo de los siglos y a la dificultad de encontrar madera subfósil que se pueda combinar con árboles vivos.

En este trabajo se han recopilado un conjunto de cronologías existentes de la cordillera Ibérica y se ha realizado un muestreo seleccionando los bosques longevos donde poder encontrar los ejemplares vivos de mayor edad. En esta primera aproximación al potencial de la información disponible en la Cordillera Ibérica Turolense para la reconstrucción climática se ha pretendido calibrar la información dendrocronológica con la información instrumental climática. De esta forma logramos determinar las variables climáticas que están influyendo en el crecimiento de los árboles, lo que nos permite reconstruir esas variables tantos años como tengan los árboles estudiados.

La originalidad de este trabajo se apoya también en la realización de una base de datos multiespecie que pretenda identificar los patrones comunes que afectan a estas especies. De tal forma que posteriormente podamos ser más precisos a la hora de realizar la reconstrucción climática

2. ÁREA DE ESTUDIO

Las muestras utilizadas para este trabajo se localizan en el Sistema Ibérico, en la provincia de Teruel, a excepción de una localización en la provincia de Castellón (fig. 1). El Sistema Ibérico es un sistema montañoso complejo, que se extiende en dirección noroeste-sureste entre la depresión del Ebro y la meseta. Está constituido por un conjunto de sierras y depresiones de litología variada, a menudo aisladas, enlazándose unas con otras por medio de altiplanicies. El clima varía desde el Mediterráneo continental, del punto situado más al oeste, al Mesomediterráneo, localizado en el punto más oriental.

La mayor parte de los 22 sitios utilizados en este estudio los encontramos en las sierras de mayor altitud, debido a que son las zonas que han sufrido una menor explotación forestal y por tanto, donde se localizan los ejemplares de árboles vivos más longevos. La altitud de las cronologías varía desde los 1.100 hasta los 2.000 m.s.n.m., siendo 1.600 m.s.n.m. la altitud media. Debido a la gran altitud en la que se encuentran la mayor parte de los árboles estudiados, podemos hablar de que pertenecen al piso bioclimático Oromediterráneo, caracterizado por tratarse de un clima de montaña donde las oscilaciones térmicas son muy acusadas con frecuentes heladas en invierno y altas temperaturas en verano y donde también destacan los frecuentes periodos secos.

Al tratarse de una reconstrucción multiespecie donde se pretende recoger la variabilidad climática de la cordillera, las cronologías recogen la mayor parte de las especies de pináceas de la cordillera. La composición de las especies de pináceas en la cordillera viene determinada por la plasticidad y la adaptación de las mismas a los diferentes pisos bioclimáticos. Así pues, en las zonas de menor altitud encontramos los *Pinus halepensis*, asociados a climas mediterráneos y conforme aumentamos en altitud encontramos poblaciones mejor adaptadas a climas de montaña como los *Pinus nigra* y *Pinus sylvestris*. Finalmente, próximos siempre a las cumbres encontramos los *Pinus uncinata*, especie autóctona en la cordillera y donde tiene su límite meridional europeo.

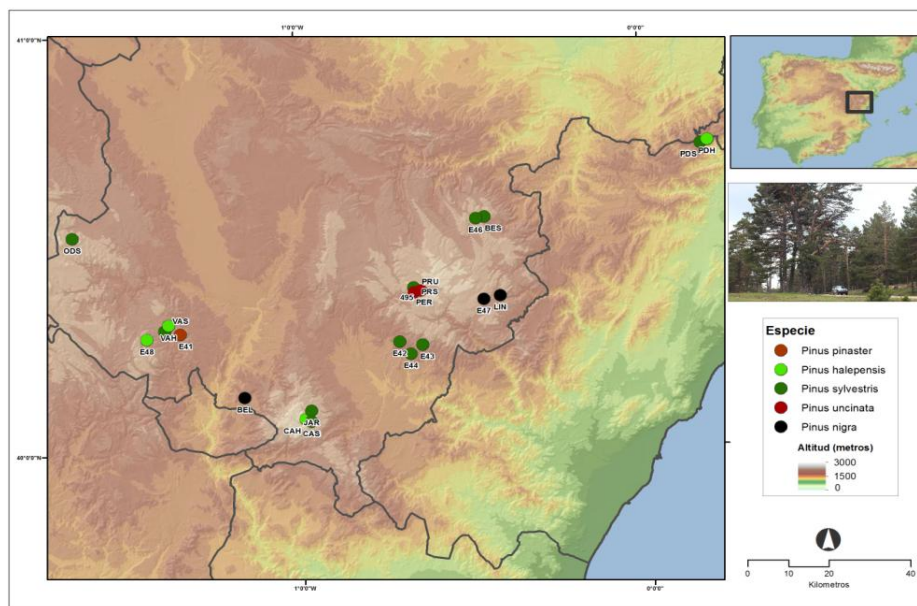


Figura 1. Mapa de situación de las localizaciones muestreadas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En conjunto se han utilizado en este trabajo muestras procedentes de 22 formaciones forestales de 5 especies diferentes: *Pinus sylvestris*, *P. uncinata*, *P. nigra*, *P. halepensis* y *Pinus Pinaster*. Esta información dendrocronológica, que suma en total 561 muestras y 71.580 anillos de crecimiento, procede de tres fuentes distintas (mapa 1) y constituye la mayor base de datos dendrocronológica existente para la Cordillera Ibérica en la provincia de Teruel. Por un lado se obtuvieron 8 sitios con 126 series de crecimiento desde el *International Tree Ring Data Bank* (ITRDB, <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>), extraídas a lo largo de los años 80 por K. Richter y colaboradores. Por otro, 4 sitios con 84 series de crecimiento generadas en el marco del proyecto CLI96-1862 (Creus et al, 1992; Génova et al, 1993; Manrique y Fdez. Cancio, 2000; Saz, 2003). El resto, 10 sitios muestreados y 294 series de crecimiento extraídas, se obtuvieron en las campañas de campo de los años 2012 y 2013 desarrolladas en el marco del proyecto de investigación CGL2011-28255.

3.1 Procesamiento y análisis de los anillos de crecimiento. Construcción de las cronologías

En el muestreo desarrollado durante las campañas de 2012 y 2013 se seleccionaron en cada sitio los árboles dominantes y co-dominantes que por su forma exterior y diámetro del tronco pudieran ser los de mayor edad. Se eligieron además árboles a priori sanos, sin señales de intervención humana sobre ellos (p.e. recolección de resina) o de procesos geomorfológicos que pudieran condicionar su crecimiento radial. De cada uno de ellos se extrajeron dos muestras a una altura de 1.3 metros y generalmente perpendiculares a la pendiente para evitar la madera de compresión. En terrenos extremos, en los que la pendiente era especialmente pronunciada, las muestras fueron extraídas a una altura mayor de lo habitual (1.5-2 m.). En total, en esas dos campañas se muestrearon 147 árboles de los que se extrajeron 294 testigos de crecimiento. Una vez en el laboratorio se secaron a temperatura ambiente y pegaron en soportes de madera. Posteriormente fueron procesadas con lijas progresivamente más finas para conseguir una superficie pulida que permita identificar los anillos de crecimiento (Stokes and Smiley 1996). Tras ello fueron escaneadas y sincronizadas mediante el software CoRecorder para identificar la posición y datación exacta de cada anillo de crecimiento. Finalmente el proceso de medición se desarrolló con una mesa LINTAB asociada al software TsapWin Scientific, con una precisión de la anchura de cada anillo de 0.01 mm. El control de calidad de la sincronización se realizó mediante el programa COFECHA (Holmes 1983). Las mediciones se han repetido cuando ha sido necesario o incluso han sido retiradas para el estudio. Algunos árboles se retiraron del conjunto de muestras utilizadas por presentar anomalías de crecimiento debidas a múltiples factores relacionados con antiguos aprovechamientos, heridas en la parte interna del tronco, o a perturbaciones. Así, sólo 57 de las 561 muestras fueron desechadas (aprox 10%). Las muestras de los árboles varían en el rango de edades, fundamental para la calibración dendroclimática cubrir los diferentes estratos de edades de los bosques muestreados, desde los 20 hasta los 490 años, teniendo un promedio de 143 años de edad.

Posteriormente, las series de crecimiento procedentes de las tres fuentes citadas, fueron estandarizadas con objeto de eliminar la tendencia biológica en el crecimiento radial del árbol (Esper et al, 2002) y obtener una primera cronología multiespecie (*cr_teruel*) a partir de todas las muestras. Para ello se empleó el paquete

estadístico dplR (Zang 2009), ejecutado en R, utilizándose ‘*splines*’ de respuesta de 0,50 y ventana de actuación de 0,67 (Levanic et al, 2013), capaz de preservar la variabilidad de media y baja frecuencia, fundamentales para conservar la información sobre anomalías climáticas de una duración de varias décadas, características de la PEH.

Tras la estandarización, todas las series de crecimiento se agruparon para formar once cronologías distintas según criterios como: la altitud de las formaciones muestreadas (*cr_1200*, con muestras situadas entre 1.200 y 1.400 m.s.n.m; *cr_1400*, entre 1.400 y 1.600; *cr_1600* por encima de 1.600), la especie (*cr_t_halep* para *Pinus halepensis*; *cr_t_nigra* para *P. nigra*; *cr_t_pinas* para *P. pinaster*; *cr_t_sylv* para *P. sylvestris* y *cr_t_unc* para *P. uncinata*) y la localización (*cr_t_occid* para la elaborada con las muestras obtenidas en la mitad occidental de la provincia y *cr_t_oriental* para las de la mitad oriental). En la tabla 1 se señala la longitud de las distintas cronologías, el número de muestras con las que se ha calculado cada una y sus principales estadísticos.

Cronología	Extensión	Longitud media	Nº cores	Sensibilidad media	Ratio señal ruido	Corr. entre árboles	Componente principal
<i>cr_teruel</i>	525	142	504	0.13	18.55	0.63	28.61%
<i>cr_1200</i>	430	144	94	0.18	13.56	0.81	41.77%
<i>cr_1400</i>	355	114	118	0.17	9.95	0.77	39.71%
<i>cr_1600</i>	525	152	292	0.13	13.25	0.65	26.99%
<i>cr_t_occid</i>	525	145	240	0.14	25.06	0.73	28.42%
<i>cr_t_oriental</i>	400	138	264	0.13	25.83	0.72	33.17%
<i>cr_t_halep</i>	183	79	63	0.25	5.66	0.77	38.79%
<i>cr_t_nigra</i>	410	216	58	0.17	24.92	0.77	43.59%
<i>cr_t_pinas</i>	165	119	22	0.28	25.35	0.86	72.27%
<i>cr_t_sylv</i>	525	139	270	0.14	18.2	0.74	27.16%
<i>cr_t_unc</i>	398	183	58	0.13	6.25	0.49	36.91%

Tabla 1. Estadísticos de las 11 cronologías obtenidas a partir de la agrupación de las series de mediciones disponibles en la C. Ibérica Turolense

3.2. Datos climáticos y calibración

Para la calibración de las cronologías con información instrumental se ha utilizado el conjunto de datos *Spain02v2* (Herrera *et al*, 2012), disponible en la dirección <http://www.meteo.unican.es/datasets/spain02>. Los datos están dispuestos sobre una malla de 0.2° (aprox. 22 km) y se calcularon mediante kriging a partir de una red de 2.500 estaciones de precipitación y 250 de temperatura de toda la España peninsular y las Islas Baleares. Con esa información se ha generado una serie termoplumiométrica regional a partir de los datos del grid más cercanos a las formaciones forestales muestreadas, que recoge la variabilidad del clima a escala regional en el entorno de los árboles analizados. Además, se obtuvieron dos series: representativas de la mitad occidental y oriental de la provincia. En todos los casos las correlaciones entre las once cronologías y las series termoplumiométricas regionales se calcularon para el periodo 1951-2000 con el paquete dplR (Zang, 2009), analizándose la

relación existente entre las series de temperatura y precipitación estacionales y las cronologías.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos a partir de la correlación entre las distintas cronologías y las series estacionales de temperatura y precipitación puede destacarse en primer lugar la buena respuesta general existente entre el crecimiento de los árboles de la C. Ibérica turolense y la precipitación de verano. Tanto la cronología general que agrupa todas las muestras (cr_teruel) (Tabla2) como las obtenidas con las series dendrocronológicas de los sitios muestreados en la mitad occidental y oriental de la provincia, ofrecen valores de correlación significativos ($\alpha=0.01$) (0.42, 0.35 y 0.47 respectivamente) que señalarían la dependencia que existe entre el crecimiento secundario de estas masas forestales y la precipitación de verano, en un ambiente climático en el que a pesar de que la precipitación estival no constituye el máximo anual, sí que la tendencia a la continentalidad de algunos espacios hace que las lluvias en este periodo agrupen un porcentaje importante en un momento clave para el desarrollo del crecimiento radial del árbol.

La elevada correlación obtenida entre la precipitación de verano y las masas forestales situadas en mayor altitud, agrupadas en la cronología cr_1600 (0.45, $\alpha=0.01$) y las de *P. uncinata* (cr_t_unc), localizadas cerca del límite altitudinal de distribución de los bosques en la provincia, indicarían también la elevada relación existente entre el crecimiento forestal y esa variable en las zonas de mayor altura y por tanto su potencial para la realización de reconstrucciones climáticas centenarias. Asimismo, la correlación de la precipitación de verano con la cronología construida con *P. sylvestris*, que aunque presentes en todo el rango altitudinal muestreados se localizan mayoritariamente por encima de los 1.600 msnm, irían también en esa misma línea. Pero también observamos este hecho en altitudes inferiores, con una correlación de la cronología cr_1200 (0.38, $\alpha=0.01$), calculada con las muestras de árboles localizados entre 1200 y 1400 msnm.

En el caso de la precipitación de invierno no encontramos en comparación con lo visto para el verano un grado de correlación tan importante entre las cronologías y los datos climáticos utilizados. Aun así podemos señalar algunos hechos significativos, como el elevado valor obtenido para la correlación con las cr_1400 (0.43, $\alpha=0.01$), con la cr_t_pinas (0.46, $\alpha=0.05$), y la cr_t_halep (0.42, $\alpha=0.05$). Por otro lado, variables pluviométricas estacionales de las que a priori se podría esperar unos buenos valores de correlación con la respuesta del crecimiento radial no han ofrecido resultados significativos. Así por ejemplo no encontramos respuesta significativa de las cronologías frente a la precipitación de primavera, excepto el valor de 0,57 ($\alpha=0.01$), de la cr_t_pinas y los 0.32 ($\alpha=0.05$) de la cr_t_occid, que si bien hay que decir que está compuesta fundamentalmente por *P. pinaster* incluidos en la crono antes señalada. Tampoco para la precipitación de otoño encontramos valores de significación de la correlación significativos.

Interesante es también destacar algunos aspectos en relación a los valores de correlación obtenidos para las temperaturas, ya que sólo en muy pocos casos encontramos valores significativos, con un valor de correlación mayor para la cr_t_pinas de -0.43($\alpha=0.05$) y de -0.37 ($\alpha=0.05$) para la cr_t_occid.

	Precipitación					Temperatura				
	inv	pri	ver	oto	anual	inv	pri	ver	oto	anual
<i>cr_teruel</i>	0.30*	0.15	0.42**	-0.22	0.23	0.17	0.06	-0.29*	-0.14	-0.09
<i>cr_1200</i>	0.37*	0.14	0.38**	0.07	0.32*	0.23	0.04	-0.31*	-0.16	-0.12
<i>cr_1400</i>	0.43**	0.22	0.32*	-0.09	0.32*	0.16	-0.05	-0.25	-0.12	-0.10
<i>cr_1600</i>	0.14	0.10	0.45**	-0.36*	0.10	0.11	0.12	-0.23	-0.09	-0.02
<i>cr_t_occid</i>	0.32	0.32*	0.35**	-0.15	0.34*	0.22	-0.04	-0.37*	-0.22	-0.15
<i>cr_t_oriental</i>	0.15	0.06	0.42**	-0.18	0.12	0.08	0.17	-0.21	-0.07	-0.03
<i>cr_t_halep</i>	0.42*	0.09	0.44**	-0.17	0.19	0.19	0.06	-0.26*	-0.06	-0.07
<i>cr_t_nigra</i>	0.35*	0.07	0.26	-0.11	0.14	0.20	-0.01	-0.23	-0.10	-0.10
<i>cr_t_pinas</i>	0.46*	0.57**	0.07	0.22	0.57*	0.18	-0.27	-0.25	-0.43*	-0.33
<i>cr_t_sylv</i>	0.20	0.14	0.38*	-0.24	0.17	0.15	0.08	-0.30*	-0.13	-0.09
<i>cr_t_unc</i>	-0.04	0.04	0.45**	-0.35*	0.08	0.00	0.19	-0.10	-0.09	0.03

Tabla2. Coeficientes de correlación. *p<0.05. **p<0.01

En entornos de montaña suele ser habitual encontrar una buena relación entre la temperatura y el crecimiento radial, pues aquella, sobre todo en la estación cálida, suele ser un factor favorable al crecimiento. Además, en nuestro caso, las correlaciones negativas indicarían por el contrario un efecto limitante. Estos resultados podrían estar relacionados con la calidad de la información climática asociada a las series de temperatura empleadas. Los datos utilizados provienen de un ráster generado para toda la España peninsular y Baleares con datos de tan solo 250 estaciones. Y si bien la señal regional de la temperatura suele mostrar patrones espaciales de variación más uniformes que en el caso de las precipitaciones, al tratarse de observatorios localizados en espacios habitados, por lo general fondos de valle, zonas litorales, grandes depresiones interiores, la señal allí existente puede variar en relación a la de zonas altitudinalmente más elevadas, donde la disponibilidad de información es escasa.

Para realizar la reconstrucción climática del Sistema Ibérico turolense hay que tomar en consideración otros criterios estadísticos además de los coeficientes de correlación. Por ejemplo, la cronología *cr_t_pinas* (Figura2, a y b) está indicando buenas correlaciones con la temperatura de otoño y la precipitación de primavera y además, el primer componente principal está explicando un 72,27% de la varianza. Sin embargo, al tratarse de una cronología con muestras procedentes de una única localización, la reconstrucción óptima sería sólo para ese mismo espacio. La correlación entre la precipitación de verano y la *cr_teruel* está marcada por la alta correlación de todas las cronologías y la precipitación de verano. Se podría pensar entonces en una reconstrucción común de la precipitación de verano para todo el Sistema Ibérico.

Sin embargo, la varianza explicada por el primer componente principal (28.61%) está indicando la presencia de varios factores explicativos que tienen mucho que ver con las diferencias climáticas existentes en el gradiente longitudinal. Realizando el análisis por especies, mejoran no sólo las correlaciones sino también la varianza explicada por el primer componente principal, es el caso de *cr_t_unc* es de 36.91% (Figura2, d). Aunque también hay que tener en cuenta que las muestras de *Pinus uncinata* se encuentran en localizaciones muy próximas entre sí.

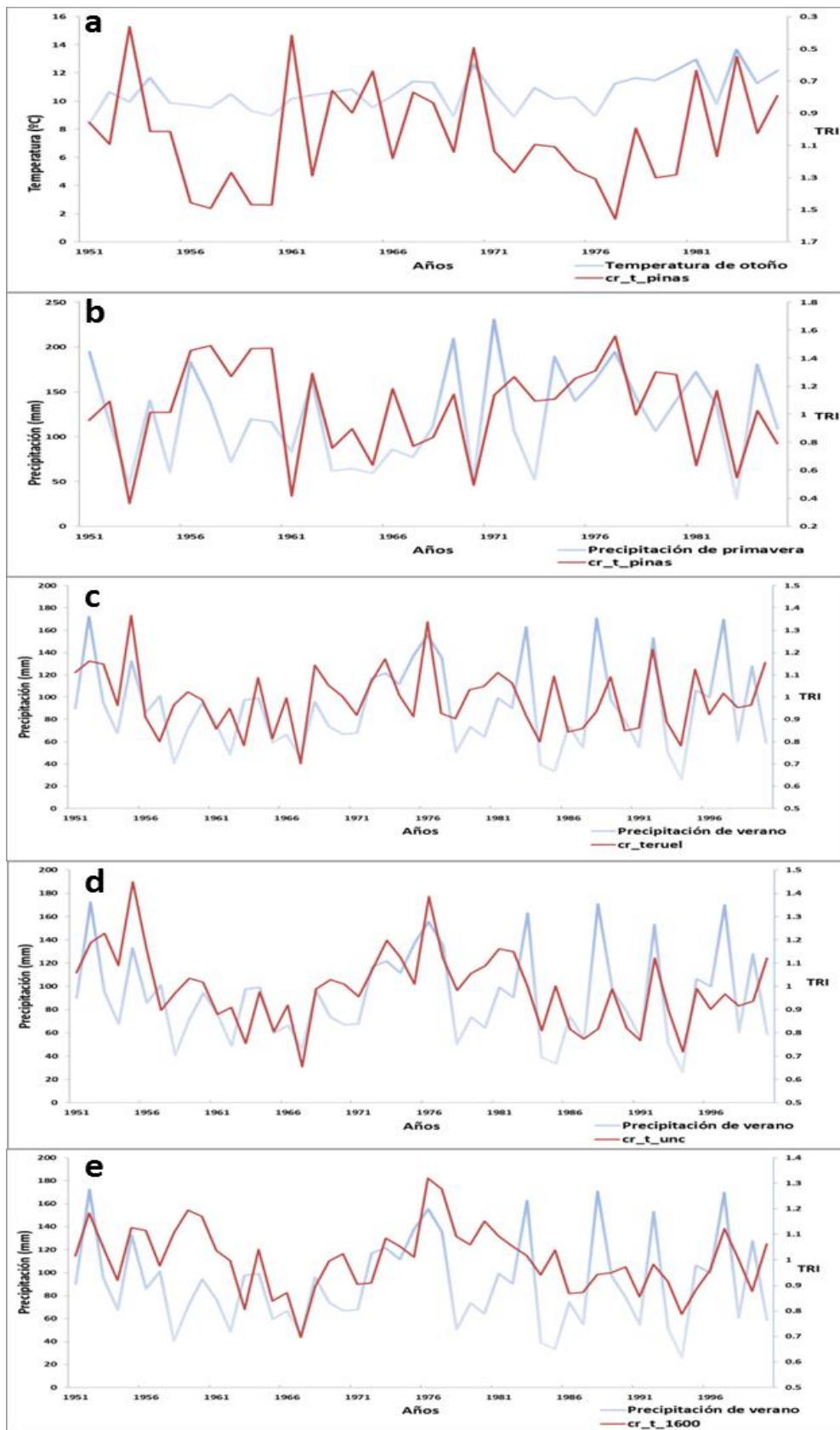


Figura 2. Correlación entre las cronologías y la serie climática en el periodo de calibración 1951-2000

En función de los resultados obtenidos, destaca la potencialidad de la base dendroclimática para reconstruir la precipitación de verano. Sin embargo, las posibilidades de reconstruir otras variables como la precipitación de invierno o la temperatura de verano pueden mejorar considerablemente si utilizamos datos termopluviométricos de mayor resolución espacial que recojan la variabilidad local y su comportamiento a lo largo tanto del gradiente altitudinal como del latitudinal y longitudinal. Este hecho, creemos que puede ayudar a resolver el principal problema en la calibración dendroclimática, la falta de datos climáticos en altitud. La red de estaciones meteorológicas españolas compuesta por estaciones de AEMET y de las distintas confederaciones hidrográficas es muy amplia pero cuenta con un gran déficit y es la falta de estaciones meteorológicas por encima de los 1.000 m.s.n.m. Teniendo en cuenta que la mayor parte de los bosques longevos de la península están situados en altitudes elevadas, por encima de los 1.500 m.s.n.m. parece lógico pensar que los datos termopluviométricos utilizados para cualquier estudio dendroclimático no están recogiendo toda la realidad climática de las cronologías. Al mismo tiempo, con los una mayor resolución de los datos climáticos en altitud se podrían generar índices de sequía como el SPI y el SPEI, que permitirán identificar los periodos de sequías de tal forma que se puedan reconstruir las sequías en el Sistema Ibérico en los últimos 300-500 años.

Por otro lado, en este estudio se ha llevado a cabo un proceso de estandarización mediante ‘*Splines*’ para eliminar las tendencias de alta frecuencia y obtener así la señal climática. Sin embargo, existen otros métodos alternativos que también han sido utilizados en reconstrucciones climáticas como el *Regional Curve Standardization* (Buntgen, 2011) o el ‘*Negative exponential*’ que todavía han de ser probados en esta nueva base de datos dendrocronológica.

5. CONCLUSIONES

El potencial dendroclimático de la nueva base de datos dendrocronológicos para el Sistema Ibérico turodense es elevado. No obstante, queda patente la necesidad de mejorar los datos climáticos instrumentales utilizados para la calibración. Los grandes repositorios de información en grid existentes para la Península Ibérica como SPAIN02 o CRU TS 3.1. no recogen el gradiente altitudinal climático, están realizados a partir de los datos instrumentales de muy pocas estaciones y tienen una resolución de 22 km (SPAIN02) y 55km (CRUTS 3.1) lo que no permite precisión en el momento de conocer las variables climáticas que afectan a cada una de las localizaciones de los árboles estudiados. Debido a que la mayor parte de los bosques longevos en el Sistema Ibérico se encuentran por encima de 1.200 m.s.n.m. es imprescindible contar con datos climáticos instrumentales precisos en altitud, como los que se están generando a través de nuevas aproximaciones metodológicas (ver ejemplo en el trabajo Serrano-Notivol et al., 2014 en este mismo volumen).

Con objeto de realizar una reconstrucción climática lo más precisa posible, es necesario trabajar con todos los modelos de estandarización existentes que nos permitan eliminar la señal biológica e identificar la señal climática con la que están respondiendo los árboles.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los siguientes proyectos: ‘Caracterización del clima del Nordeste de España desde el siglo XVI. Análisis integrado mediante información multi-proxy e instrumental’ (CGL2011-28255); ‘Eventos climáticos extremos: Caracterización, variabilidad espacio-temporal e impacto en los sistemas naturales’ (ELENA: CGL2012-31668) del Plan Nacional de I+D+I del Ministerio de Economía y Competitividad; y la ayuda del Gobierno de Aragón y el Fondo Social Europeo al grupo de investigación consolidado “Clima, Agua y Cambio Global” de la Universidad de Zaragoza. El trabajo se ha realizado también gracias a la beca predoctoral FPI concedida por el Gobierno de Aragón, convocatoria de 2012. Agradecer al Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón su predisposición y ayuda en la realización de los muestreos en la Cordillera Ibérica. Por último, se quiere agradecer a José Creus y a Mar Génova por poner a disposición para este trabajo las series de crecimiento generadas en el proyecto CICYT CLI96-1862.

6. REFERENCIAS

Briffa, K.R., et al. (1996). *Tree-ring variables as proxy-climate indicators: Problems with low-frequency signals*. In: Jones, P.D., Bradley, R.S., Jouzel, J. (Eds.), *Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 years*, NATO ASI Series, vol. I (41). Springer, Berlin, pp. 9–41.

Büntgen, U., et al. (2007). *Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia*. *Tree Physiol* 27(5):689–702. doi:10.1093/treephys/27.5.689

Büntgen, U., Frank, D.C., Grudd, H., Esper, J., (2008a). *Long-term summer temperature* Cook ER, Briffa KR (1990). *A comparison of some tree-ring standardization methods*. In: Cook ER, Kairiukstis LA (eds) *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 153–162

Büntgen, U. et al. (2011). *2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility*. *Science* 331, 578; DOI: 10.1126/science.1197175

Cook, E.R., Holmes R.L. (1999). *Program ARSTAN—chronology development with statistical analysis (user’s manual for program ARSTAN)*. Report, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson

Cook E.R., Krusic P.J., Jones P.D. (2003). *Dendroclimatic signals in long tree-ring chronologies from the Himalayas of Nepal*. *International Journal of Climatology* 23(7): 707-732.

Creus, J., Génova, M., Fernández, A. y Pérez, A. (1992): *New dendrochronologies for Spanish Mediterranean zone*. *Lunqua*, 34, 76-78.

Esper, J., Cook, E.R., Krusic, P.J., Peters, K., Schweingruber, F.H., (2003). *Tests of the RCS method for preserving low-frequency variability in long tree-ring chronologies*. *Tree-Ring Research* 59(2): 81-98.

- Esper, J., Cook, E.R., Schweingruber, F.H., (2002). *Low-frequency signals in long tree ring chronologies for reconstructing past temperature variability*. Science 295:2250–2253.
- Frank D.C., Esper, J. (2005a). *Characterization and climate response patterns of a high elevation, multi species tree-ring network for the European Alps*. Dendrochronologia 22:107–121
- Fritts, H.C., (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press, London
- Génova, M., Fernandez, A. y Creus, J., (1993): *Diez series de anillos de crecimiento en los sistemas Carpetano e Ibérico*. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. 2 (2). 151-172.
- Gonzalez, 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)*. International Journal of Climatology 31, 715-31.
- Herrera, S. et al., (2012). *Development and Analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02)*. International Journal of Climatology, vol. 32, 74-85, DOI: 10.1002/joc.2256
- Holmes, R.L., (1983). *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. Tree-Ring Bull 43:69–78
- Jacobeit, J., et al.,(2003). *Atmospheric circulation variability in the North-Atlantic-European area since the mid seventeenth century*, *Climate Dynamics*., 20:341–352.
- Levanic, T et al (2013). *A 323-year long reconstruction of drought for SW Romania based on black pine (Pinus Nigra) tree-ring widths*. Int. J. Biometeorology 57(5): 703-714.
- Manrique, E. y Fernandez-Cancio, A. (2000): *Extreme climatic events in dendroclimatic reconstructions from Spain*. *Climatic Change*, 44 (1-2).123-138.
- Martín-Benito, D., Del Río, M., Cañellas, I. (2010) *Black pine (Pinus nigra Arn.) growth divergence along a latitudinal gradient in Western Mediterranean mountains*. Annals of Forest Science 67(4):401
- Mitchell, T. D. et al., (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.
- Mitchell, T.D., Jones, P.D., (2005). *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high resolution grids*. Int. J. Climatol 25(6):693–712. doi:10.1002/joc.1181

Poljanšek S, Ballian D, Nagel TA, Levanič T (2012). *A 435-year-long European black pine (Pinus nigra) chronology for the centralwestern Balkan region*. *Tree-Ring Res* 68(1):31–44

Saz, M.A., (2003): *Temperaturas y precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV. Estudio dendroclimático*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. Pp 293.

Schweingruber, F.H., Bräker, O.U., Schär, E., (1979). *Dendroclimatic studies on conifers*. *Tree-Ring Research* 59: 81–98.

Solomon, S., et al. (2007). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, p. 996. IPCC

Wilson, R.J.S., Esper, J., Luckman, B.H., (2004). *Utilizing historical tree-ring data for dendroclimatology: a case study from the Bavarian Forest, Germany*. *Dendrochronologia* 21, 53–68.

Zang, C., (2009) *BootRes: The bootRes package for bootstrapped response and correlation functions*. *R package*, 1st edn. www.Rproject.org. Accessed 02 February 2014