

ANÁLISIS DE LAS RECONSTRUCCIONES DENDROCLIMÁTICAS OBTENIDAS EN LAS ZONAS CENTRAL Y MERIDIONAL DE ESPAÑA

¹V. Candela Jurado, ²A. Fernández Cancio y ¹E. Manrique Menéndez

¹ E.U.I.T. Forestal, U.P.M., Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid.

e-mail: candela@forestales.upm.es Tfno: 91 3367655

e-mail: emilio.manrique@upm.es Tfno: 91 3367657

² CIFOR-INIA. Ctra. de la Coruña s/n km 7. 28040 Madrid.

e-mail: fernand@inia.es Tfno: 91 3476778

Resumen

Los métodos dendroclimáticos, que relacionan los anillos de crecimiento anual de los árboles con el clima, permiten reconstruir variables climáticas y fitoclimáticas con una extensión temporal próxima al milenio y con resolución anual. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos aplicando estos métodos a las zonas central y meridional de España. La reconstrucción climática se ha realizado en 217 puntos, en los que se ubican estaciones meteorológicas con datos conocidos, lo que permite completar las series con los valores climáticos actuales. Se realiza también un estudio de la fiabilidad de las reconstrucciones, analizando la coherencia de los resultados obtenidos en las zonas consideradas con criterios geográficos y bioclimáticos.

Palabras clave: Dendrocronología, dendroclimatología, reconstrucción climática, fiabilidad.

INTRODUCCIÓN

La dendrocronología constituye la técnica de datación y tratamiento estadístico de la información contenida en los anillos de crecimiento de los árboles, aplicando técnicas estadísticas para obtener así series dendrocronológicas, analizables científicamente desde múltiples puntos de vista.

Las reconstrucciones dendroclimáticas utilizan como punto de partida la información contenida en las series dendrocronológicas, resaltando los aspectos climáticos y comparándolos con los registros reales del clima de los mismos años en que se formaron los anillos de los árboles muestreados. A continuación, se pueden establecer modelos que permiten realizar una estimación del clima del pasado en la zona, a partir del grosor de los anillos de años anteriores a los utilizados en la elaboración del modelo (FRITTS, 1976).

Hasta 1997, y siguiendo las directrices de los métodos de reconstrucción clásicos, los trabajos que relacionaban cronologías y variables locales permitieron la reconstrucción de un número limitado de variables en intervalos de tiempo que apenas excedían los cuatro siglos. Utilizando nuevas técnicas estadísticas para seleccionar las cronologías y aprovechando al máximo la potencia de los actuales ordenadores, se obtienen ahora series de reconstrucciones dendroclimáticas de mayor número de variables y en intervalos de tiempo más amplios (FERNÁNDEZ CANCIO y MANRIQUE, 1997).

Se puede tratar de corroborar los resultados obtenidos acudiendo a diferentes fuentes de información. Por un lado, comparando nuestros resultados con los obtenidos a partir de noticias históricas del clima, lo que ya se ha hecho en diversos trabajos (CANDELA *et al.* 2001a). Por otro lado, se han realizado estudios fitoclimáticos previos, basados en reconstrucciones dendroclimáticas (MANRIQUE y FERNÁNDEZ CANCIO, 1999), que pueden ser la base para comparar los resultados aquí obtenidos con las características fitoclimáticas de distintas zonas del país, e incluso con los valores extremos de las variables fitoclimáticas (MANRIQUE y FERNÁNDEZ CANCIO, 2000). Las reconstrucciones realizadas con esta perspectiva utilizan como referencia el sistema fitoclimático de J.L. ALLUÉ ANDRADE (1990), metodología que permite relacionar el clima y la vegetación en cada zona.

Por último, la información obtenida en las reconstrucciones permite realizar un estudio comparativo entre estaciones de diversas zonas. Por ello, una vez realizadas las reconstrucciones se seleccionan varias zonas con criterios geográficos y bioclimáticos fundamentalmente. Los resultados

obtenidos en ellas se analizan y comparan entre sí, teniendo como finalidad investigar si existen regiones dentro de la Península Ibérica, donde las estaciones meteorológicas puedan estar sometidas a circunstancias climáticas semejantes (CANDELA *et al.* 2001b).

MATERIAL Y MÉTODOS

Series dendrocronológicas y base de datos climáticos

En este trabajo se ha utilizado una base de datos de aproximadamente 1500 series de anillos de más de 600 árboles de toda la península: Galicia, Cordillera Central (Gredos y Guadarrama), Pirineos Occidental y Central, Sierras de Urbión y La Demanda, Serranía de Cuenca, Sierras de Teruel, Sierras de Alcaraz, Cazorla y Segura, Sierra de los Filabres y Sierra María. Las muestras provienen principalmente de *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus uncinata*, *Pinus pinaster*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus petraea* y *Quercus robur*, y fueron tomadas con barrena Pressler por varios investigadores (RICHTER y RODRIGUEZ-TROBAJO, 1986; CREUS *et al.*, 1992; GÉNOVA *et al.*, 1993; PÉREZ-ANTELO, 1993; FERNANDEZ CANCIO *et al.*, 1996).

El proceso de sincronización y datación de las series de grosores de anillos se realiza siguiendo el largo y complejo proceso que puede consultarse, por ejemplo en COOK & KARIUTSKIS (1986), con ayuda de diversos programas informáticos. Con el proceso de estandarización se trata de eliminar las señales debidas a los factores no climáticos mediante filtros de tipo spline. En esta etapa se aplican técnicas de series temporales autorregresivas.

Por otra parte, los datos climáticos de las estaciones que se van a utilizar provienen del I.N.M., y contienen registros reales de precipitaciones y temperaturas, con series que comienzan en algunos casos en torno a 1900.

División por zonas

Después de realizar la reconstrucción climática se pensó en la posibilidad de agrupar estaciones que tuvieran similares características geográficas, climáticas, de vegetación, etc., y que además formaran recintos más o menos definidos. El objetivo era comparar los resultados obtenidos en las reconstrucciones de cada zona con todas las demás, buscando una nueva corroboración indirecta de la metodología utilizada. Para ello, se tomó la decisión de hacer *a priori* una división de la superficie estudiada y analizar sus analogías; dicha división se ha basado fundamentalmente en aspectos geográficos, bioclimáticos y de densidad de estaciones, obteniéndose así seis zonas numeradas de la 1 a la 6, de las que posteriormente se obtuvieron resultados globales que pudieron ser analizados y comparados entre sí. Las zonas son las siguientes:

- ZONA 1: Sistema Central y Serranía de Cuenca
- ZONA 2: Extremadura occidental
- ZONA 3: Andalucía occidental
- ZONA 4: Centro y parte de Extremadura oriental
- ZONA 5: Sistema Penibético
- ZONA 6: Litoral mediterráneo

En la figura 1 se representan las zonas y las estaciones consideradas en cada una de ellas, sobre el mapa de la península; en la tabla 1 se indican los subtipos fitoclimáticos correspondientes.

Método de reconstrucción dendroclimática

Una vez elegidas las 217 estaciones, se procedió a realizar las correspondientes reconstrucciones climáticas de diferentes variables desde el siglo XI, exactamente desde 1050 aunque el año de inicio de cada reconstrucción no es siempre el mismo pues depende de los datos disponibles. En total se han reconstruido 57 variables en cada una de las 217 estaciones, y dado el volumen de información resultante, se seleccionaron 10 variables para realizar este trabajo, que son las siguientes:

- Precipitación total anual, P (1 variable)
- Precipitación trimestral, P31, P32, P33, P34 (4 variables)
- Temperatura media anual, T (1 variable)
- Temperatura media trimestral, T31, T32, T33, T34 (4 variables)

Las variables fundamentales han sido P y T, utilizándose las trimestrales para corroborar los resultados. Como ya se ha dicho anteriormente, el método de reconstrucción empleado ha sido el

elaborado por FERNÁNDEZ-CANCIO y MANRIQUE (1997) que permite utilizar series de anillos que tengan correlación significativa con cada variable, independientemente de su distancia o situación respecto a la estación. Esto obliga a seleccionar mediante criterios estadísticos y dendrocronológicos las series de anillos que pueden servir para reconstruir cada variable climática. Las distintas etapas del proceso de reconstrucción de este método han sido completamente automatizadas en los programas Remadec (FERNÁNDEZ CANCIO y MANRIQUE, 1997b), aplicándose íntegramente en este estudio. Los procesos de calibración y verificación de los modelos ofrecen resultados muy buenos en la mayor parte de las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis comparativo entre zonas

A continuación se presenta el estudio realizado comparando los resultados obtenidos en las zonas seleccionadas para la realización de este trabajo. El proceso de división de la extensión estudiada se ha basado fundamentalmente en criterios geográficos y bioclimáticos según se explicó anteriormente, eligiendo desde el principio las seis zonas a las que se hizo referencia. Dado que en cada zona hay estaciones de mayor o menor altitud, o con distintas características, se procedió a tipificar las variables, expresándolas con relación a la media y en unidades de la desviación típica. Esto permite saber si llovió o hizo frío en relación a los valores medios de cada punto, lo que facilita las comparaciones con zonas distintas.

Una vez obtenidos los resultados de las reconstrucciones del clima en todas las estaciones, y por tanto, también en las seis zonas, haremos algunas consideraciones sobre sus características, comparándolas entre sí a partir de los resultados de precipitación y temperatura obtenidos durante el milenio.

Precipitación

Se han clasificado anualmente las zonas como lluviosas o secas según el número de estaciones con resultados por encima o por debajo de la media de la variable precipitación anual P. Se ha comparado cada zona con las otras cinco, considerando coincidencia si dos zonas son lluviosas o secas indistintamente. El resultado obtenido en cada siglo junto con el total en el milenio, se presenta en la tabla 2, donde se indica el número de veces que cada una de las zonas coincide con otra. Sobre dicha tabla se han marcado aquellos casos en los que, con un nivel de confianza del 99%, el resultado de la comparación de dos zonas indica que son diferentes.

A la vista de los totales obtenidos en el milenio se deduce que cuando en la comparación interviene la zona 6, el número de coincidencias es menor, es decir, parece que la zona 6 (litoral mediterráneo) tiene unas características climáticas claramente diferentes de las demás. Ésta es una interesante conclusión ya que los resultados obtenidos por aplicación del método de reconstrucción climática son coherentes con la decisión tomada *a priori* de seleccionar esta zona de trabajo en función de sus peculiares características pluviométricas, como son las fuertes lluvias y las diferentes características estacionales que se suelen producir en breves espacios de tiempo, debidas entre otros factores a la proximidad de las cálidas aguas del Mediterráneo y a la presencia de relieves próximos a la costa.

Si se analiza cada uno de los siglos, existen resultados significativos al principio de las reconstrucciones, atribuibles en parte a la escasez de series dendrocronológicas en este periodo. Al estudiar los resultados de la precipitación obtenidos en el siglo XVI se observa que en esta época aparece una alternancia de períodos secos y lluviosos. Pero lo más importante respecto a lo que aquí se está considerando es que, frecuentemente, dentro de un mismo año se han obtenido zonas lluviosas y secas de alta intensidad, por lo que es lógico que en este siglo las diferentes zonas pierdan el grado de homogeneidad que mantienen en otros siglos anteriores y posteriores a éste. En otras palabras, parece que las zonas pierden parte de sus similitudes pluviométricas en el siglo XVI (probablemente coincidiendo con la Pequeña Edad Glacial).

Finalmente, si se estudian los resultados totales obtenidos en el milenio, se observan tres niveles de semejanzas: el claramente más bajo sería el de la zona 6 con las demás, que por tanto sería la menos parecida en cuanto a precipitación; el siguiente nivel ascendiendo en coincidencias sería el de la zona 1 con las demás (excepto con la zona 6); y el último nivel serían las coincidencias de la zona 2 con la 3, la 4 y la 5; el de la zona 3 con la 4 y la 5; y el de la zona 4 con la 5.

Temperatura

Siguiendo el mismo esquema de análisis se han estudiado las semejanzas de las zonas entre sí frente a las temperaturas medias anuales (T). Los resultados en el número de coincidencias entre dos zonas, ya sea porque ambas son frías o ambas cálidas se muestra en la tabla 3, donde además se han sombreado aquellos resultados significativos para un nivel de confianza del 99%, es decir, cuando el resultado de la comparación indica que las zonas no son similares respecto a T.

En general todas las zonas son similares dentro de un intervalo de confianza del 99%, existiendo una mayor concordancia que en el caso de las precipitaciones. Sin embargo, desde un punto de vista termométrico algunas zonas se parecen más que otras. Por ejemplo, a partir de los resultados totales obtenidos en el milenio se puede decir que el parecido es máximo entre las zonas 1 y 4 (zona centro), y mínimo entre la 3 y la 5 (Andalucía occidental y oriental, respectivamente).

Si se representan conjuntamente todos los resultados para comparar cada zona con las demás, se observa una mayor homogeneidad que en el caso de las precipitaciones. En el siglo XI existen resultados significativos, reflejo en parte de la escasez de series utilizables en ese periodo. Se observan también valores mínimos de coincidencias en torno al siglo XVI, aunque sin que muchas zonas sean significativamente distintas, como sucedía con la precipitación. Por otra parte, parece que el número de coincidencias entre las zonas está disminuyendo últimamente, excepto cuando la zona 5 se compara con las demás.

Finalmente, estudiando el total de coincidencias en el milenio, se pueden diferenciar tres niveles: el más alto corresponde al mayor número de coincidencias de la zona 4 con la 1, la 2 y la 3; y el más bajo, es decir, menor número de coincidencias, de la zona 5 con la 1, la 2 y la 3, y de la zona 6 con la 2.

Los resultados obtenidos con las temperaturas y las precipitaciones, son corroborados de forma importante con los estudios sobre subtipos fitoclimáticos actuales y pasados realizados anteriormente (MANRIQUE y FERNÁNDEZ CANCIO, 1999). En particular, con la existencia de importantes cambios de genuinidad en los siglos XV y XVI, en muchas estaciones de la península, y la actual situación de gran variabilidad fitoclimática, con ruptura del esquema secular de subtipos en muchos lugares de nuestra geografía.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha utilizado un método de reconstrucción dendroclimática altamente fiable, en el que se generan series de gran longitud, con buenos indicadores en los procesos de calibración y verificación. La metodología relaciona las series climáticas con las series de anillos de crecimiento, seleccionando sólo las que tienen correlación significativa.

Los valores obtenidos quedan corroborados en numerosas ocasiones con las referencias históricas y las reconstrucciones fitoclimáticas existentes. En cuanto a las zonas estudiadas, el Levante presenta características climáticas diferentes al resto. En cuanto a los periodos, en el siglo XVI se obtienen diferencias importantes entre las zonas, sobre todo en lo que se refiere a las precipitaciones. Los registros de las últimas décadas también reflejan diferencias entre zonas, reflejo de la actual variabilidad climática.

BIBLIOGRAFÍA

ALLUÉ ANDRADE, J.L.; 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (MAPA). Madrid.

CANDELA, V.; MANRIQUE, E. y FERNÁNDEZ CANCIO, A.; 2001a. Reconstrucciones dendroclimáticas en España. Comparación con datos históricos. *Actas del III Congreso Forestal Español*. Tomo I, 391-397. Junta de Andalucía. Granada.

CANDELA, V.; MANRIQUE, E.; FERNÁNDEZ-CANCIO, A. y GÉNOVA, M.; 2001b. Análisis de la variabilidad climática de los últimos siglos en España a partir de reconstrucciones dendroclimáticas. Comparación con la situación actual. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 12: 77-82.

COOK, E.R. & KAIRIUKSTIS, L.A. (eds.); 1990. *Methods on Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.

CREUS, J.; GÉNOVA, M.; FERNÁNDEZ, A. y PÉREZ, A.; 1992. New dendrochronologies for Spanish Mediterranean zone. *Lundqua report*, 34. Lund University, Department of Quaternary Geology: 76-78.

FERNANDEZ-CANCIO, A.; GÉNOVA, M.; CREUS, J. y GUTIÉRREZ, E.; 1996. Dendroclimatological Investigation for the Last 300-400 Years in Central Spain. *Radiocarbon*: 181-190.

FERNÁNDEZ-CANCIO A. y MANRIQUE E.; 1997a. *Nueva metodología para la reconstrucción dendroclimática y aplicaciones más importantes*. Editado por los autores. Madrid.

FERNÁNDEZ-CANCIO A. y MANRIQUE E.; 1997b. Programas de ordenador "Remadec" Registro de la propiedad intelectual, número de RPI: M-58836. Madrid.

FRITTS, H.C.; 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press. London, New York, San Francisco.

GÉNOVA FUSTER, M., FERNÁNDEZ CANCIO, A. y CREUS NOVAU, J.; 1993. Diez Series Medias de Anillos de Crecimiento en los Sistemas Carpetanos e Ibérico. *Investigación Agraria INIA. Vol 2*: 136-151.

MANRIQUE MENÉNDEZ, E. y FERNÁNDEZ CANCIO, A.; 1999. Evolución fitoclimática de los últimos siglos en España a partir de reconstrucciones dendroclimáticas. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, Fuera de Serie n.º 1: 75-91.

MANRIQUE, E. y FERNÁNDEZ-CANCIO, A.; 2000. Extreme climatic events in dendroclimatic reconstructions from Spain. *Climatic Change*, 44/1-2: 123-138.

PÉREZ ANTELO, A.; 1993. Análisis de una cronología de *Castanea sativa* Mill. obtenida en la finca de Val de Fernando (Lalín, Pontevedra). Comparación con otras cronologías gallegas de *Quercus sp.* En: F. J. Silva-Pando y G. Vega Alonso (eds.), *Actas del Congreso Forestal Español Lourizan-1993* Tomo I: 111-116. Grafol S.A. Pontevedra.

RICHTER, K. y RODRÍGUEZ TROBAJO, E.; 1986. El banco de datos dendrocronológicos para la Península Ibérica. *Koiné*, 1: 66-77.

Tabla 1. Distribución de las 217 estaciones a reconstruir en las seis zonas de estudio según los subtipos fitoclimáticos presentes en cada una.

SUBTIPOS FITOCLIMÁTICOS	ZONAS					
	1	2	3	4	5	6
IV(III)	0	0	0	0	0	9
IV ₁	0	0	0	0	2	29
IV ₂	0	0	20	0	4	5
IV ₃	1	5	0	24	12	1
IV ₄	3	6	7	17	9	2
IV(VI) ₁	3	3	0	10	2	0

IV(VI) ₂	1	0	0	0	0	4
VI(IV) ₃	0	0	0	0	1	0
VI(IV) ₁	16	0	0	1	2	0
VI(IV) ₂	8	3	0	1	2	0
VI(VII)	3	0	0	0	0	0
VIII(VI)	1	0	0	0	0	0

Tabla 2. Distribución en cada siglo del número total de coincidencias entre cada zona y las demás (indistintamente lluviosas o secas). El primer período presentado comprende 50 años, mientras que los demás son un siglo completo. La última fila muestra el total de coincidencias en el milenio. En oscuro, resultados significativamente no coincidentes.

		NÚMERO DE COINCIDENCIAS POR ZONAS (Precipitación o sequía)														
		ZONAS														
PERÍODO	1 y 2	1 y 3	1 y 4	1 y 5	1 y 6	2 y 3	2 y 4	2 y 5	2 y 6	3 y 4	3 y 5	3 y 6	4 y 5	4 y 6	5 y 6	
1050-1100	29	30	35	38	30	43	41	35	26	41	37	28	41	25	32	
1101-1200	62	63	69	70	62	88	88	75	48	88	81	56	80	54	63	
1201-1300	72	72	76	68	66	87	93	89	45	88	84	49	88	49	49	
1301-1400	79	72	77	78	72	89	87	84	64	88	85	53	88	61	62	
1401-1500	74	73	75	76	62	87	81	86	61	81	82	53	80	55	60	
1501-1600	65	49	64	61	57	62	76	74	52	60	65	34	70	46	56	
1601-1700	76	73	76	67	48	76	76	69	47	80	68	37	72	41	52	
1701-1800	84	78	85	81	54	80	86	76	52	83	78	44	76	57	48	
1801-1900	72	72	78	74	55	76	83	71	44	79	78	55	77	51	56	
1901-1997	78	76	80	79	50	78	84	78	45	85	78	48	82	46	55	
TOTAL	691	658	715	692	556	766	795	737	484	773	736	457	754	485	533	

Tabla 3 Distribución en cada siglo del número total de coincidencias entre cada zona y las demás (frías o cálidas indistintamente). La última fila muestra el total de coincidencias en el milenio. En oscuro, resultados significativamente no coincidentes.

		NÚMERO DE COINCIDENCIAS ENTRE ZONAS (Frío o calor)														
		ZONAS														
PERÍODO	1 y 2	1 y 3	1 y 4	1 y 5	1 y 6	2 y 3	2 y 4	2 y 5	2 y 6	3 y 4	3 y 5	3 y 6	4 y 5	4 y 6	5 y 6	
1050-1100	32	35	39	31	33	36	31	34	25	39	34	23	32	29	28	
1101-1200	76	75	70	60	67	79	77	67	70	80	62	73	71	79	80	
1201-1300	82	84	84	72	73	82	84	70	75	83	72	83	78	82	83	
1301-1400	76	77	84	73	74	89	86	81	82	81	78	80	79	80	80	
1401-1500	70	78	82	71	80	78	73	70	71	81	71	80	71	84	71	
1501-1600	73	62	73	63	69	75	85	71	67	72	60	60	67	66	64	
1601-1700	72	70	83	67	68	75	76	63	68	75	65	65	68	66	66	

1701-1800	71	71	76	71	75	78	80	70	74	78	66	72	71	75	75
1801-1900	81	84	87	74	80	91	87	69	77	84	73	84	78	84	77
1901-1997	64	67	80	73	72	72	75	65	61	76	72	71	72	72	77
TOTAL	697	703	758	655	691	755	754	660	670	749	653	691	687	717	701

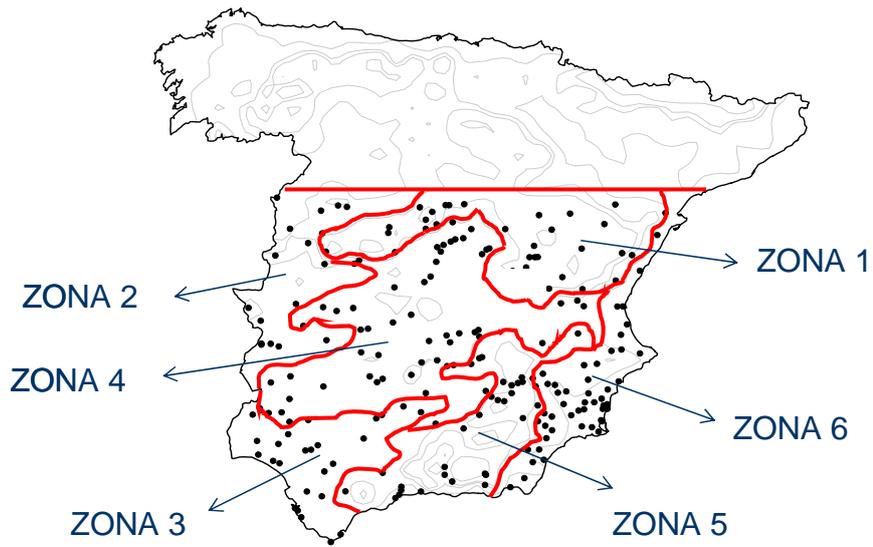


Figura 1: Zonas de estudio y estaciones consideradas en cada una de ellas.