

EVOLUCIÓN FITOCLIMÁTICA DE LOS ÚLTIMOS SIGLOS EN ESPAÑA A PARTIR DE RECONSTRUCCIONES DENDROCLIMÁTICAS

E. MANRIQUE MENÉNDEZ

EUIT Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid. ESPAÑA

A. FERNÁNDEZ CANCIO

Área de Selvicultura y Mejora Genética. CIFOR-INIA.
28040 Madrid. ESPAÑA

RESUMEN

En este trabajo se expone una nueva orientación metodológica para la reconstrucción fitoclimática del pasado, tomando como base las series de anillos de crecimiento de los árboles. Utilizando dicha metodología se lleva a cabo el análisis fitoclimático de varios siglos, a partir de la información climática suministrada por una red de estaciones meteorológicas españolas. Las reconstrucciones con frecuencia retroceden en el tiempo hasta mediados del siglo XI. Las principales herramientas para el análisis son las elaboraciones supra-anales, que integran la información de un intervalo temporal y los polinomios de frecuencias, que tienen en cuenta la variabilidad.

PALABRAS CLAVE: Climatología
Fitoclimatología
Dendroclimatología
Cambio climático

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se describen la metodología y los resultados de la reconstrucción fitoclimática de casi un milenio, utilizando como registros de partida las huellas que el clima deja en los anillos de crecimiento anual de los árboles. Dicha reconstrucción se realiza sobre una muestra de estaciones meteorológicas distribuidas por todo el territorio peninsular, de forma que sea representativa de las distintas zonas y cuencas hidrográficas del país. Desde el punto de visto estadístico se pretende buscar una significación territorial amplia de todos los resultados que permita conocer qué variables se pueden reconstruir de forma general.

La dendroclimatología es la disciplina que trata de extraer la información climática contenida en los anillos de los árboles. Estas estructuras, generadas en el *cambium* vascular, tienen una periodicidad anual en las especies estudiadas,

fundamentalmente del género *Pinus*. Una de sus características más importantes es el grosor, a partir del cuál se pueden datar y sincronizar, situándolos correctamente en el tiempo mediante diversas técnicas estadísticas. Hay varios factores que pueden influir sobre el crecimiento del anillo, desde los puramente ecológicos hasta los antrópicos, siendo el clima uno de los más importantes (Fritts, 1976). Los anillos constituyen un registro histórico de estos factores, pudiendo remontarse hasta varios miles de años hacia el pasado.

La fitoclimatología es la disciplina que estudia la relación entre el clima y la vegetación natural. Mediante la definición de una serie de indicadores, basados en las precipitaciones y en las temperaturas, se trata de explicar dicha relación, desde distintas hipótesis de partida (Allué y Fernández Cancio, 1993). No se ha pretendido aquí hacer un estudio climático de cada una de las principales especies forestales españolas, sino de sus características fisiognómicas, que permiten clasificarlas en diversas categorías, tales como esclerófilas, marcescentes, caducifolias, etc. El sistema fitoclimático de J.L. Allué Andrade (1990, 1995) permite asignar a estos grupos sus ámbitos de existencia climáticos.

En este trabajo se aborda el estudio conjunto de estas disciplinas mediante la reconstrucción de diversas variables fitoclimáticas del último milenio, usando las series de anillos de crecimiento. Partiendo de la base de la relación actual entre el clima y la vegetación, se puede intentar extender dicha relación hacia el pasado, lo que da lugar a una completa visión del fitoclima peninsular durante varios siglos. En el análisis de los factores climáticos o fitoclimáticos se hará especial énfasis en las anomalías que se han producido en la historia, comparándolas con la situación actual y tratando de aportar alguna luz sobre los posibles cambios climáticos pasados y presentes (Fernández Cancio y Manrique, 1997).

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo que aquí se expone no se limita a la aplicación de la metodología clásica para la reconstrucción dendroclimática. Dicha metodología se basa en utilizar cronologías próximas a la estación meteorológica que se quiere estudiar (Creus y Fernández Cancio, 1992). Sin embargo, es un hecho demostrable que árboles próximos entre sí responden de forma distinta al clima, en función de su ubicación, de la competencia y de otros factores. Al promediar los anillos de todos estos árboles se debilita a veces la señal climática que se quiere reconstruir, lo que ha quedado evidenciado en diversos estudios (Fernández Cancio *et al.*, 1996).

La base de partida de la nueva metodología ha sido considerar que la lejanía geográfica no debe ser un factor excluyente para la reconstrucción climática. Ésto tiene justificación si se consideran las influencias macroclimáticas, que se manifiestan en las variables térmicas y pluviométricas de muchas estaciones, así como en los anillos de crecimiento. Es un hecho comprobado la existencia de elevadas correlaciones entre datos climáticos de algunos puntos muy distantes de la península (Villa *et al.*, 1985); del mismo

modo se puede comprobar la elevada sincronización entre muchas series dendrocronológicas, aunque provengan de zonas muy alejadas (Richter, 1988; Génova, 1994). Esta señal común justifica el proceso aquí realizado, que consiste en generar cronologías dirigidas a cada variable climática, considerando todas las series de grosores que tengan una correlación significativa con ella.

TABLA 1
SUBTIPOS MÁS IMPORTANTES Y ANOMALÍAS
DE CADA ESTACIÓN EN INTERVALOS DE 30 AÑOS
Most important subtypes and anomalies of each station,
using 30-years intervals

Estación		Subtipo 1º		Subtipo 2º			Anomalías		
Nombre	Indicativo	Símbolo	m _G	s _G	Símbolo	m _G	s _G	m _N	s _N
Santader	1110	VI(V)	942	135	—	—	—	58	138
La Coruña	1387	VI(IV) ₃	373	323	VI(V)	46	124	573	328
Vinuesa	2006	VI(VII)	470	302	VI(IV) ₂	279	260	147	110
Burgo de O.	2085	VI(IV) ₁	970	74	IV(VI) ₁	31	114	14	44
Navacerrada	2462	VIII(VI)	727	184	VI(IV) ₂	14	50	258	170
León	2661	VI(IV) ₁	757	283	IV(VI) ₁	36	75	208	245
Zorita	3086	IV(VI) ₁	665	288	IV ₃	413	310	125	133
Madrid	3195	IV ₃	906	214	VI(IV) ₁	89	215	—	—
Barrado	3439	VI(IV) ₂	833	320	IV ₄	16	70	167	320
Cáceres	3469	IV ₄	522	290	IV ₃	284	212	195	250
Ciudad R.	4121	IV ₃	507	322	IV(VI) ₁	212	274	303	271
Sevilla	5790	IV ₂	876	240	IV ₄	36	154	119	237
Arguellite	7059	IV ₄	491	326	VI(IV) ₃	48	106	456	320
Puentes	7205	IV ₁	801	286	IV(III)	199	286	—	—
Uña	8088	VI(IV) ₂	745	218	VI(VII)	11	35	229	215
Valencia	8416	IV ₂	807	178	IV ₁	65	106	104	114
Tortosa	9981A	IV(VI) ₂	355	316	IV ₄	38	60	566	313

m_G = Valor medio de la proporción de genuinos

s_G = Desviación típica de la proporción de genuinos

m_N = Valor medio de la proporción de anomalías (ausencia de genuino)

s_N = Desviación típica de la proporción de anomalías

Subtipos fitoclimáticos según Allué (1990)

El planteamiento entraña cierto riesgo, al menos en apariencia, pues se parte de un elevado número de series dendrocronológicas (cerca de 1000, con 6 filtros de estandarización cada una) y algunas podrían ser seleccionadas por puro azar. Sin embargo, se pueden utilizar diversos tests estadísticos que permiten conocer la fiabilidad del número de series con las que se reconstruirá posteriormente cada variable. Además, para tener mayor seguridad, las series resultantes siguen un proceso posterior de sincronización, eliminando las que no cumplen unas

exigencias mínimas. El resultado final son reconstrucciones climáticas de gran calidad, como demuestran los elevados coeficientes de correlación en los intervalos de calibración y de verificación (Manrique, 1997).

La metodología se ha aplicado a 17 estaciones, repartidas por toda la península y representativas de los distintos subtipos fitoclimáticos (Tabla 1). Su localización geográfica se muestra en la Figura 1, donde también se indica de forma aproximada la situación de las regiones de procedencia de las series de anillos.

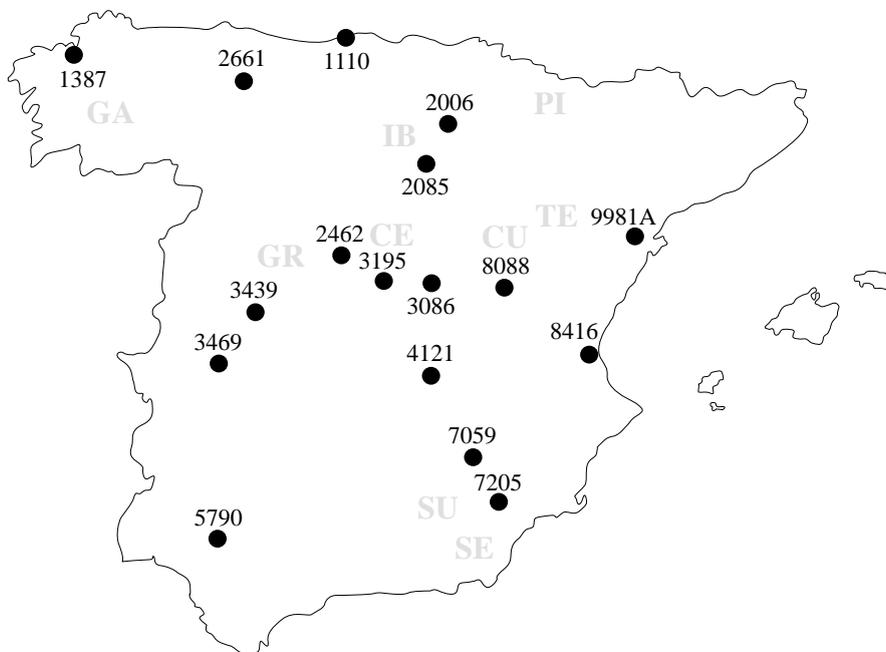


Fig. 1.—Localización de las estaciones meteorológicas y de las regiones de muestreo.
Location of meteorological stations and sampling zones.

1110, Santander; 1387, La Coruña; 2006, Vinuesa; 2085; Burgos de Osma; 2462, Navacerrada; 3086; Zorita; 3195, Madrid; 3439, Barrado; 3469, Cáceres; 4121, Ciudad Real; 5790, Sevilla; 7059, Arguellite; 7205; Puentes; 8088, Uña; 8416, Valencia; 9981A, Tortosa. CE: Centro; CU, Cuenca; GA, Galicia; GR, Gredos; IB, Sistema Ibérico; PI, Pirineos; SE, Sureste; SU, Sur; TE, Teruel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Subtipos principales y anomalías en cada estación

Una vez obtenidas las series de valores fitoclimáticos más importantes se pueden realizar otro tipo de elaboraciones a partir de ellas, como los espectros y los polinomios (Allué, 1995). Los primeros integran la información de un intervalo temporal, clasificando en cada estación meteorológica cada subtipo en genuino, análogo o dispar, de acuerdo con la mayor o menor proximidad fitoclimática a la misma. Los segundos expresan las frecuencias relativas de los subtipos anuales en un intervalo determinado, dando cuenta por tanto de su variabilidad. Puesto que toda esta información es muy extensa, es aconsejable hacer un proceso de síntesis que sin perder los contenidos más importantes, permita un análisis de la evolución del fitoclima con un alcance territorial amplio.

El primer hecho que se puede destacar es que muchas estaciones presentan en algún momento cambios fitoclimáticos, bien por saltos entre distintos subtipos o bien por la existencia de intervalos sin una clara determinación, si se toman como referencia las clasificaciones obtenidas con los datos actuales (ver ejemplo en Figura 2). Por tanto, el estudio histórico de cada estación obliga a decidir primero cuál es su subtipo característico, para analizar luego su evolución. Con este objetivo se agrupan los años en intervalos móviles de 15, lo que permite suponer cierta estabilidad fitoclimática, para determinar después los subtipos genuinos en cada uno de ellos, o constatar la aparición de anomalías (ausencia de genuino). Una vez que se dispone de esta información, se pueden considerar grupos de intervalos que permitan obtener una resolución temporal razonable del milenio (Tabla 2). En cada grupo se calculan las proporciones de genuinos y de anomalías de cada estación, mostrándose en la Tabla 1 los dos subtipos que alcanzan globalmente mayores valores y que por tanto se pueden considerar los más característicos. En la tabla se observa que algunas estaciones están muy centradas en el primer subtipo, con proporciones medias muy altas, mientras que otras se comportan de modo opuesto. Una vez reconocido el subtipo fundamental y su nivel medio se pueden estudiar las fluctuaciones que han tenido lugar a lo largo del milenio.

El cambio fitoclimático en la península

Las características de la evolución fitoclimática de las estaciones y de algunas variables importantes quedan patentes en el estudio pormenorizado de las mismas. Pero también se vislumbran tendencias comunes de cambio en algunos momentos de la historia, así como épocas de gran estabilidad. El propósito del estudio que se hace a continuación es resaltar lo que hay de común en muchas de las estaciones, a fin de intentar ofrecer una interpretación global de la evolución del fitoclima peninsular. Este análisis no pretende sustituir al estudio de cada estación, sino ofrecer una perspectiva distinta, con menor detalle geográfico pero con mayor significación global.

TABLA 2

**ALTERACIONES Y ESTABILIDAD FITOCLIMÁTICAS:
FRECUENCIA E INTENSIDAD EN 17 ESTACIONES**

Phytoclimatic alterations and stability: frequency and intensity in 17 stations

Año	Frecuencia (F)						Intensidad (I)					
	$P_G < m_G$	$P_G \geq m_G$	$P_N \geq m_N$	$P_N > m_N$	$P_P \leq m_P$	$P_P > m_P$	$P_G < m_G$	$P_G \geq m_G$	$P_N \leq m_N$	$P_N > m_N$	$P_P \leq m_P$	$P_P > m_P$
1093	6	11	9	8	—	—	10	7	4	13	—	—
1123	5	12	13	4	0	17	7	10	7	10	0	17
1153	5	12	12	5	8	8	7	10	7	10	3	14
1183	6	11	11	6	8	8	7	10	7	10	14	3
1213	5	11	12	5	5	12	6	11	7	10	7	10
1243	3	14	14	3	10	7	6	11	8	9	7	10
1273	5	12	14	3	7	10	7	10	9	8	9	8
1303	3	14	13	4	14	3	4	13	9	8	9	8
1333	3	14	15	2	11	6	3	14	14	3	12	5
1363	3	14	14	3	16	1	4	13	13	4	14	3
1393	3	14	13	4	11	6	6	11	11	6	8	9
1423	8	9	9	8	8	9	11	6	5	12	8	9
1453	10	7	9	8	9	8	12	5	5	12	6	11
1483	12	5	10	7	11	6	14	3	6	11	12	5
1513	12	5	8	9	3	14	15	2	2	15	1	16
1543	10	7	9	8	10	7	14	3	4	13	4	13
1573	3	14	15	2	10	7	4	13	13	4	9	8
1603	6	11	12	5	12	5	9	8	9	8	8	9
1633	11	6	11	6	11	6	10	7	10	7	10	7
1663	6	11	12	5	13	4	8	9	9	8	11	6
1693	8	9	9	8	7	10	10	7	5	12	9	8
1723	3	14	13	4	13	4	4	13	11	6	13	4
1753	5	12	11	6	16	1	5	12	10	7	17	0
1783	3	14	13	4	11	6	2	15	11	6	12	5
1813	5	12	12	5	14	3	6	11	10	7	16	1
1843	5	11	12	5	9	8	4	13	10	7	8	9
1873	5	12	11	6	10	7	7	10	7	10	9	8
1903	8	9	7	10	9	8	10	7	4	13	7	10
1933	11	6	8	9	7	10	13	4	5	12	9	8
1963	7	10	13	4	7	10	9	8	13	4	4	13
1990	6	11	14	3	3	14	4	13	15	2	3	14

P_G y m_G : proporción de genuinos y media.

P_N y m_N : proporción de anomalías y media.

P_P y m_P : porcentaje polinómico y media.

Borde continuo = alteraciones.

Borde discontinuo = estabilidad.

Líneas de puntos horizontales = bandas homogéneas.

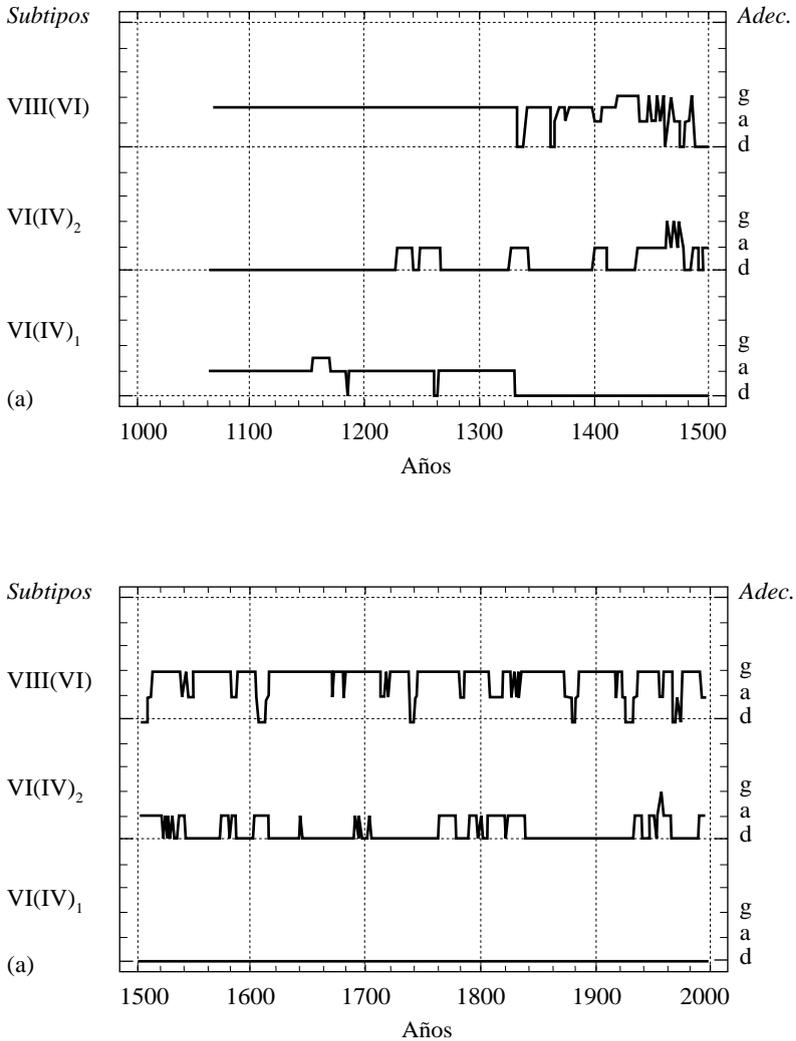


Fig. 2.-Variación de la adecuación (g = genuino, a = análogo, d = dispar, según Allué, 1990) y transiciones entre subtipos en el último milenio en la estación de Navacerrada (2462).

a) Hasta 1500; b) desde 1500.

Variation of adequation (g=genuine, a=analogous, d=distant, according to Allué 1990) and transitions between subtypes along the millennium in Navaerrada (2462).

a) Until AD 1500; b) since AD 1500.

En la Tabla 2 se indica el número de estaciones que en cada intervalo está por debajo o por encima de la proporción media de genuinos del subtipo principal, haciéndose el mismo planteamiento con las anomalías y con las frecuencias polinómicas. Las columnas encabezadas con el rótulo “frecuencia” tienen en cuenta sólo el número de estaciones que está, por encima o por debajo de los valores medios, mientras que las columnas con el rótulo “intensidad” se obtienen al considerar además la distancia a dichos valores. La diferencia entre ambos planteamientos es clara: un valor alto de la frecuencia indica significación territorial amplia de una circunstancia climática determinada, aunque no dice nada sobre su magnitud; por el contrario, una intensidad elevada indica alteraciones de cierta magnitud en bastantes estaciones; aunque puede no existir el mismo alcance territorial, éste suele ser en todo caso bastante amplio. Indudablemente la conjunción de ambas situaciones es el mejor indicador de alteraciones, en extensión e intensidad.

Las alteraciones fitoclimáticas ocurren cuando aumenta el número de estaciones con proporciones de genuinos por debajo de la media, $p_G < m_G$, con anomalías por encima de la misma $p_N > m_N$ o con discrepancias en el polinomio superiores a la media, $p_p > m_p$. Por el contrario, las situaciones representadas por $p_G \geq m_G$, $p_N \leq m_N$ y $p_p \leq m_p$ serían de estabilidad fitoclimática en los subtipos principales.

Todas las consideraciones que se van a hacer aquí se refieren al fitoclima global de la península, del que las estaciones elegidas son una variada representación, aunque algo corta. Considerando 17 estaciones, es a partir de 12 cuando se pueden empezar a obtener conclusiones globales. No hay que olvidar que pueden existir cambios importantes en una estación, que no son apreciables en este tipo de análisis.

Estudio por bandas temporales

En la Tabla 2 se diferencian claramente 7 bandas, separadas por líneas de puntos y definidas por los intervalos 1064-1213, 1214-1393, 1394-1543, 1544-1663, 1664-1693, 1694-1873, 1874-1990. No hay que olvidar que los límites de estos intervalos provienen del año de inicio de algunas reconstrucciones, en 1050 (desde 1050, el primer intervalo de 15 años terminaría en 1064). Por tanto, en ningún caso deben tomarse estos límites como fechas exactas, que separan radicalmente determinados hechos, sino sólo aproximadas.

A continuación se analiza con detalle la evolución fitoclimática general, tomando como base la existencia de estas bandas homogéneas. Las bandas más interesantes por la magnitud de sus cambios, la 3ª y la 7ª, se estudian de forma más exhaustiva.

1ª banda. Está definida por los intervalos existentes entre 1064 y 1213, y en principio parece una época con alteraciones, aunque un análisis detallado llevará a conclusiones distintas. En Tabla 2 se puede observar que consta de 5 grupos. El primer grupo (1063-1093) presenta anomalías en 8 estaciones, las de indicativos I.N.M. 1387, 2006, 2085, 3086, 3439, 5790, 7059 y 8088. Muchas de estas anomalías son debidas a la falta de árboles suficientes con edad

adecuada, por lo que deben tomarse con precaución. A continuación hay dos grupos que cubren el intervalo 1094-1153, en los que se produce un aumento de alteraciones polinómicas. Aquí sólo existen polinomios de dos estaciones, La Coruña (1387) y Navacerrada (2462). En la estación 1387 se refuerza el subtipo principal VI(IV)₃ y en la 2462 la frecuencia de VIII(VI) decrece en favor de VI(IV)₂ y VI. Esta información es interesante pero hay que tener en cuenta que proviene de solo dos estaciones. En estos años las genuinidades y anomalías indican estabilidad. Los siguientes grupos (1154-1183 y 1184-1231) corresponden a años de en los que se refuerzan los subtipos principales.

2ª banda: Cubre los intervalos comprendidos entre 1214 y 1393. Como se puede ver en la Tabla 2, ningún indicador expresa cambio y casi todos tienden a la estabilidad en uno u otro momento. Sin embargo, en algunas estaciones sí aparecen alteraciones. Las más destacadas por esto son: Uña (8088), con refuerzo de subtipo principal VI(IV)₂, Zorita (3086), con pérdidas de genuinidad del subtipo IV(VI)₁ y Arguellite (7059), con entradas esporádicas del nemoromediterráneo VI(IV)₃.

3ª banda: Esta banda comprende los intervalos existentes entre 1394 y 1543, siendo la etapa con las alteraciones más importantes del milenio. Los indicadores de cambio son sobre todo en intensidad, al principio y al final; en el medio también hay indicadores de frecuencia asociados a p_G y p_P. Los principales resultados de algunas estaciones se recogen en la Tabla 3.

El primer grupo es el 1394-1423. En él existen anomalías en intensidad en 8 estaciones, que dominan sobre el resto: 1387, 2085, 3439, 4121, 5790, 7059, 8416 y 9981A. Las tendencias más importantes indican una disminución de la precipitación, acompañada la mayor parte de las veces por un aumento de la aridez y una disminución de la temperatura. Las excepciones ocurren en la estación de Arguellite (7059), donde disminuye la aridez y en Tortosa (9981A), donde aumenta la mínima absoluta. La disminución de la temperatura se manifiesta frecuentemente en la temperatura media de las mínimas del mes de media más fría (T_m), pero también puede aparecer en forma de aumento de los meses de helada segura (HS). Estas serían las características más importantes de los climas indefinidos que aparecen durante estos años.

El segundo grupo comprende los intervalos entre 1424 y 1453. Las anomalías aparecen en 8 estaciones, de las que 5 son coincidentes con el grupo anterior: 1110, 2085, 2462, 2661, 3439, 4121, 5790 y 9981A. La tendencia de estos climas no definidos es la misma que antes, con la excepción de Santander (1110), en la que aumenta T_m y Tortosa (9981A), en la que aumenta A pero también lo hace F. Además se produce una disminución de la proporción del subtipo principal en 10 estaciones: 1110, 2006, 2085, 2462, 2661, 3439, 3469, 4121, 5790 y 7205. Cuando aparece otro subtipo la tendencia es hacia más árido, VI(VII)→VI(IV)₂ (estación 2006), hacia más seco, IV₄→IV₃ (3469), hacia más cálido, IV₁→IV(III) (7205) o hacia más fresco, IV₃→IV(VI)₁ (4121), lo que corrobora en lo esencial las características más secas y áridas de los climas indefinidos.

El tercer grupo (1454-1483) se caracteriza sobre todo por la disminución de la proporción del subtipo genuino, en frecuencia e intensidad. Esto afecta a 12 estaciones: 1110, 2006, 2462, 2661, 3439, 3469, 4121, 5790, 7059, 7205,

8416 y 9981A. A los cambios mencionados en el grupo anterior, que persisten aquí, se deben añadir las transiciones VIII(VI)→VI(IV)₂ (2462, Figura 2) y IV(VI)₂→IV₄ (9981A) con aumento de la aridez y IV₄→VI(IV)₃ (7059) con disminución de la misma. También es significativa la estabilidad de las estaciones 1387, 2661, 5790, 7205 y 8416.

TABLA 3
RESUMEN DE LOS CAMBIOS EN LA TERCERA BANDA
(1394-1543) PARA ALGUNAS ESTACIONES

Summary of changes of the third band (1394-1543) for some stations

Años	Clave	Estación										
		1110	2006	2462	2661	3086	3195	4121	5790	7059	8088	9981A
1394-1423	N							HS 2 Tm -0.8	Tm -2	A -0.5		F 0.6
1424-1453	N	Tm 0.6		A 0.1 PE -4	A 0.3			HS 2 Tm -1	Tm -3			A 0.1 F 0.6
	G	φ	VI(IV) ₂	φ	φ			IV(VI) ₁	φ			
1454-1483	G	φ	VI(IV) ₂	VI(IV) ₂	φ.			IV(VI) ₁	φ	VI(IV) ₃		IV ₄
1484-1513	N		A 1.2 PE -19	A 0.3 PE -12 Tm -2	A 0.9	HS -1 Tm 1.6		HS 2 Tm -1.3	A 0.4 Tm -0.4			A 0.3 P -3 F 1.1
	G		VI(IV) ₂	φ	IV(VI) ₁	IV ₃	VI(IV) ₁	IV(VI) ₁	φ			φ
	P		VI(IV) ₃	VI(IV) ₁		IV(VII) VI(IV) ₁	IV(VII) VI(IV) ₁	IV(VI) ₁	IV ₁ VI(IV) ₁	IV(III)	IV ₃ VI(IV) ₃	X(IX) ₂
1514-1543	N				A -0.3			HS 2 TM -1.3		K -0.03 A -0.05	P -44 Tm -2.5	K 0,09 PE -5
	G		VIII(VI)		φ		VI(VI) ₁	IV(VI) ₁		φ	VI(IV) ₁	φ
	P			X(IX) ₂	VI(VII)	VI(IV) ₁	IV ₁			IV(VI) ₁	VI(IV) ₁	VI(IV) ₁

- Clave:

N: Anomalías, indicando las variables por debajo (-) o por encima (+) del ámbito, junto con la distancia a sus extremos.

G: Nuevos subtipos genuinos.

P: Subtipos cuya proporción aumenta significativamente en el polinomio.

- Variables: K, A: intensidad y duración de la aridez; P, PE: Precipitación total y estival mínima; Tm: media de las mínimas del mes de media más fría; F: mínima absoluta; HS: meses de helada segura. φ: Falta de datos.

- Subtipos fitoclimáticos según Allué (1990).

En el cuarto grupo (1484-1513) disminuye la proporción de genuinos en 12 estaciones: 1387, 2006, 2462, 2661, 3086, 3195, 3439, 4121, 5790, 7205, 8416 y 9981A, de las que 9 coinciden con el grupo anterior, pero sólo 3 mantienen las transiciones anteriores, pues otros cambios son hacia climas no bien definidos. Por el contrario, la transición de Madrid (3195), $IV_3 \rightarrow VI(IV)_1$, supone disminución de la aridez y la de Zorita (3086), $IV(VI)_1 \rightarrow IV_3$, elevación de la temperatura. Se producen anomalías en 9 estaciones: 1387, 2006, 2462, 2661, 3086, 3439, 4121, 5790 y 9981A. Los climas resultantes mantienen valores bajos en las precipitaciones (P total y estival) y en las temperaturas (Tm, C) y altos en la aridez (A y K). En este sentido hay que destacar a la estación de La Coruña (1387), con salidas muy acusadas del ámbito del subtipo $VI(IV)_3$. La excepción es Zorita (3086), con disminución de HS y aumento de Tm, que ya quedaba reflejada en las entradas del subtipo IV_3 . Los polinomios presentan frecuencias alejadas de los valores medios en 12 estaciones: 1110, 1387, 2006, 2085, 2661, 3086, 3195, 4121, 5790, 7059, 8088 y 8416. En general suben los porcentajes de los subtipos más áridos y secos, como $VI(IV)_3$ en 1110, $IV(VI)_2$ en 1387, $IV(VII)$ en 2661 y 3086, IV_1 en 4121, $IV(III)$ en 5790 o $X(IX)_2$ en 8088.

El quinto grupo (1514-1543) presenta anomalías en 8 estaciones: 1387, 2661, 3469, 4121, 7059, 8088, 8416, 9981A. La tendencia de toda la banda se sigue manteniendo, apareciendo ahora alguna nueva variable térmica con tendencia a disminuir (TMF en Valencia). La disminución de la proporción de genuinos se da en 10 estaciones: 1387, 2006, 2661, 3195, 3469, 4121, 7059, 8088, 8416 y 9981A. La tendencia de la precipitación ya no es tan clara pues algunos subtipos se caracterizan por su mayor pluviometría, como las transiciones $VI(VII) \rightarrow VIII(VI)$ en 2006 o $IV_3 \rightarrow VI(IV)_1$ en 3195. En el resto de las estaciones los subtipos alternativos tienen tendencia a ser más frescos o más secos, como $VI(IV)_1$ en 8088, IV_4 en 8416 o $IV(VI)_1$ en 4121. Los polinomios presentan alteraciones en 8 estaciones, 2462, 2661, 3086, 3195, 7059, 7205, 8088 y 9981A. En general los subtipos que aumentan su porcentaje son más fríos o más secos. Por ejemplo, $X(IX)_2$ en 2462, $VI(VII)$ en 2661, IV_1 en 3195, $VI(IV)_1$ en 8088 o $VI(IV)_1$ en 9981A.

4ª banda (1544-1663). Es de estabilidad, como indican sobre todo las columnas de frecuencia, que permiten una mayor generalización territorial. Atendiendo al espectro, los cambios más importantes se producen en la estación de Uña (8088), con entrada de los subtipos $VIII(VI)$ y $VI(VII)$; el cambio en esta estación lleva algo de retraso respecto al resto, tendiendo ahora a menos árido y más frío. También hay cambios de cierta importancia y con disminución de la aridez en La Coruña (1387), con pasos a $VI(IV)_4$ y $VI(V)$ y en Arguellite (7059), con pasos a $VI(IV)_3$.

5ª banda (1664-1693). Aquí los cambios son significativos en la intensidad de las anomalías de 8 estaciones: 1387, 2006, 3086, 3469, 4121, 5790, 8088 y 9981A. El esquema de cambios es similar al de la 3ª banda, es decir, disminuyen las precipitaciones y aumenta la aridez. Las temperaturas bajan en general, aunque suben en alguna estaciones, como la mínima absoluta, F, en Tortosa (9981A) o la media de las mínimas del mes de media más fría, Tm, en 3086, acompañada en este último caso por la disminución de

HS. Es de destacar que algunos autores, como Font Tullot (1988), consideran esta etapa como una de las más severas de la P.E.G.

6ª banda (1694-1873). En esta etapa, que ocupa casi dos siglos, todos los indicadores indican estabilidad, en frecuencia y en intensidad. Las excepciones más notables son las estaciones de Cáceres (3469), con entrada del subtipo IV₃, y Tortosa (9981A), en la que entra el subtipo IV₄.

7ª banda (1874-1990). Esta banda presenta sobre todo alteraciones en intensidad, por lo que no se pueden extender a todo el territorio con la misma generalidad que los cambios acaecidos en la 3ª banda. Un resumen de las características de estos años en algunas estaciones se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4
RESUMEN DE LOS CAMBIOS EN LA SÉPTIMA BANDA (1874-1990)
PARA ALGUNAS ESTACIONES.

Summary of changes of the 7th band (1874-1990) for some stations

Años	Clave	Estación										
		1110	2006	2462	2661	3086	3195	4121	5790	7059	8088	9981A
1874-1903	N	TMF 0.2 A 0.2			A 0.1					P -43	HS 1	K 0.16 A 0.9 F 1.1
			PE -5				Tm -0.6					
1904-1933	N	TMF0.1 A 0.3	A 0.2		HS -1					A -0.2	Tm -1.1	K 0.22 A 1.0 F 1.1
			PE -1		Tm 0.7							
	G	φ	φ	IV(VI) ₁	IV ₃	VI(IV) ₁	IV(VI) ₁	IV ₄	VI(IV) ₃	φ		VI(IV) ₁ IV _{2,3,4}
1934-1963	P		IV(VII) VIII(VI) X(IX) ₂	IV(VI) ₁		IV ₄	IV(III) IV(VII) IV ₄	IV(III) IV ₁		IV(VII) VIII(VI) X(VIII)	IV ₂ IV(III)	
1964-1990	P	VI(IV) ₃	IV(VII) VIII(VI)	IV(VII)	IV ₄	IV ₁ IV ₄	IV ₄ VI(IV) ₂	IV(III)	VI(IV) ₂	IV(VII) VIII(VI) X(VIII)	IV ₂ IV(III)	

- Clave:

N: Anomalías, indicando las variables por debajo (-) o por encima (+) del ámbito, junto con la distancia a sus extremos.

G: Nuevos subtipos genuinos.

P: Subtipos cuya proporción aumenta significativamente en el polinomio.

- Variables: K, A: intensidad y duración de la aridez; P, PE: Precipitación total y estival mínima; Tm: media de las mínimas del mes de media más fría; F: mínima absoluta; HS: meses de helada segura. φ: Falta de datos.

- Subtipos fitoclimáticos según Allué (1990).

El primer grupo, 1874-1903, presenta 10 estaciones con anomalías: 1110, 1387, 2006, 2462, 3469, 4121, 7059, 8088, 8416 y 9981A. Excepto en 1110 y 9981A, donde aumentan algunas variables térmicas, todos los cambios tienen lugar con disminución de temperaturas y precipitaciones y aumento de las variables relacionadas con la aridez (K y A).

El segundo grupo, 1904-1933, presenta alteraciones por anomalías en 9 estaciones, de las que 7 son coincidentes con el anterior: 1110, 1387, 2006, 2462, 3086, 7059, 8088, 8416, 9981A. A las excepciones a la tendencia general se une ahora Zorita (3086), con aumento de Tm y disminución de HS. Además disminuye la proporción de genuinos en 12 estaciones: 1110, 1387, 2462, 2661, 3086, 3195, 4121, 5790, 7059, 8088, 8416 y 9981A. La entrada de otros subtipos distintos del principal se produce mediante transiciones con aumento de la aridez, VI(IV)₁→IV(VI)₁ (estación 2661), o de la temperatura, IV(VI)₁→IV₃ (3086), o por lo contrario, como IV₃→VI(IV)₁ (3195), IV₃→IV(VI)₁ (4121), IV₄→VI(IV)₃ (7059), IV₂→IV₄ (5790). En la estación 9981A la situación es más compleja, con entrada de subtipos de características dispares.

El tercer grupo (1934-1963) presenta sólo alteraciones polinómicas, que ocurren en 10 estaciones: 1387, 2006, 2661, 3195, 4121, 5790, 7205, 8088, 8416 y 9981A. El cuarto grupo (1964-1990) presenta el mismo tipo de fenómeno en 14 estaciones: 1110, 1387, 2006, 2085, 2462, 3086, 3195, 3469, 4121, 5790, 7059, 8088, 8416 y 9981A.

Sólo los polinomios, representativos de la variabilidad interanual, parecen indicar alteraciones con significación geográfica amplia en las últimas décadas. Si se analizan las frecuencias de subtipos anuales se observa la aparición de algunos de ellos hacia un lado y hacia el otro de la escala fitoclimática, de características contrapuestas. Por ejemplo, el IV(VII) adquiere una presencia muy importante, siendo la primera vez que aparece este subtipo en muchas estaciones. También se observan los infra-arbóreos IV(III) y III(V), junto con los oroborealoides X(VIII) o lo oroarticoides X(IX)₂, en algunas estaciones por primera vez en el milenio. La elección de estos grupos de intervalos, acorde con lo realizado hasta el momento, puede enmascarar un hecho conocido, que sitúa en la década de los 60 una de las etapas de mayor pluviometría del milenio, seguida por otra bastante más seca.

Algunos aspectos fitológicos contrastables

El aspecto más importante de los cambios fitoclimáticos es su posible influencia en la vegetación natural. Un hecho a tener en cuenta, que ya se expuso anteriormente, es que no existe una relación binunívoca entre subtipos fitoclimáticos y taxones, lo que dificulta la interpretación de los cambios. En general, las especies más importantes de la península pueden existir en varios de los subtipos establecidos. Esto hace que no todos los cambios tengan que llevar a la desaparición de una especie y a su sustitución por otra. Además, existe cierta inercia fitológica, de modo que la desaparición de una especie en condiciones adversas no sería un fenómeno brusco, sino que requeriría la persistencia de esas condiciones durante un cierto tiempo. Por desgracia, es difícil conocer con exactitud estos detalles.

Para poder hacer un análisis de estos hechos hay varias fuentes posibles. Por un lado la presencia de árboles de determinadas especies con una edad conocida es un hecho incuestionable, dada la exactitud de los métodos dendrocronológicos de sincronización. Por otro lado, existen noticias históricas sobre el clima, en las que a veces hay referencias sobre la cubierta vegetal de la península y sus alteraciones, aunque su escasez impide un contraste riguroso con las reconstrucciones fitoclimáticas. Por último se dispone de las propias reconstrucciones dendroclimáticas realizadas en este trabajo. En lo que sigue se buscarán algunos puntos de convergencia entre estos planteamientos, en distintas estaciones e intervalos del milenio.

En el Sistema Central, el árbol más viejo muestreado es un ejemplar de *Pinus nigra* de la Jarosa, con 505 años y los *Pinus sylvestris* más viejos rondan los 450 años. Hay diversos hechos en la evolución fitoclimática que podrían implicar un aumento de la mortalidad de estas especies en algunos momentos de la historia. Por ejemplo, tomando la estación próxima de Navacerrada, entre 1450 y 1550 se pierde el subtipo VIII(VI), cuya expresión fisiognómica es el bosque aciculiperennifolio de pino silvestre (Figura 2). Por otro lado, iniciándose en el año 1510, aparece una secuencia muy acusada de subtipos nuales oroarticoides no arbóreos, X(IX)₂, que llegan a cubrir más del 40% de la composición de los polinomios y que dura más de un siglo, aunque no tienen su expresión en el compendio. Parece por tanto existir una relación entre las edades máximas encontradas y estos episodios fitoclimáticos adversos, aunque no se puede afirmar que sea causal.

Algunas noticias históricas sitúan en zonas próximas a Madrid diversas especies vegetales que hoy apenas existen como alcornoques en Collado Mediano, Guadarrama y la propia capital, o alcornoques, quejigos y madroños en San Martín de Valdeiglesias (Manuel Valdés, 1996). Parece que las referencias sobre su existencia se van perdiendo con el paso de los años, lo que se atribuye a los grandes fríos de los siglos XVI a XVIII. Episodios continuados de estas características ya se han mencionado en Navacerrada, en el siglo XVI. En Madrid, en esta misma época, se produce un aumento de frecuencias polinómicas de subtipos frescos y húmedos, como IV(VI)₁ o VI(IV)₁ (éste último aparece también como genuino), que ratifican el carácter frío de esa época, lo que pudo producir la regresión de especies que vivían ya en condiciones próximas a sus límites.

La referencia a la existencia de hayas en la Sierra de Guadarrama antes de la P.E.G., que mencionan autores como Font Tullot (1988), podría estar asociada a la aparición de subtipos VI, nemorales genuinos, climas húmedos y más cálidos que los VIII(VI) del pino silvestre. En los primeros intervalos del espectro, anteriores al año 1100, el subtipo VI aparece con la categoría de análogo, hecho que ya no se vuelve a repetir nunca. Atendiendo al polinomio, que empieza más tarde, se observa durante todo el siglo XII una alta concentración de este mismo subtipo, que llega casi al 40%. Las esporádicas apariciones del subtipo doble VIII(VI)=VI son hasta 1550 de mayor magnitud que en la actualidad. Todo esto indica la existencia de condiciones climáticas más favorables para *Fagus sylvatica* en la primera etapa de las reconstrucciones, antes de las importantes alteraciones de la P.E.G.

Las proximidades de Uña (Cuenca) son un lugar que ha sido ampliamente muestreado, encontrándose ejemplares de *Pinus nigra* con edades de más de 600 años. Si se analiza la evolución fitoclimática de esta estación se observa que los cambios en el espectro son algo posteriores si se comparan con otras estaciones, ocurriendo fundamentalmente a partir del siglo XVII. Antes de ese momento, los polinomios reconstruidos en torno al año 1350 parecen indicar una etapa de aumento de los subtipos IV(VI)₁ o IV(VII), mediterráneos con tendencias nemorales o esteparias, similar a la que se está produciendo en la actualidad, y que coincide con episodios de mortalidad de este tipo de pinos. Además de esta justificación de la mayor longevidad de los pinos de Cuenca respecto a los de la sierra de Guadarrama existe otro argumento que se puede encontrar también en la comparación de los respectivos polinomios. Siendo el X(IX)₂ un subtipo anual posible en Uña y que aparece con relativa frecuencia (más del 20% en la actualidad), no se da nunca en la historia una secuencia comparable a la del siglo XVI en Navacerrada.

Vinuesa es otro lugar del que se dispone de datos dendrocronológicos y fitoclimáticos. Los árboles más longevos rondan aquí los 500 años, siendo el más viejo conocido un *P. uncinata* de 528 años. En las reconstrucciones se observan cambios en torno a 1500, desde el subtipo principal VI(VII) a los subtipos VI(IV)₂ y VIII(VI). Esto no tiene por que afectar a esta especie de pinos aunque sí probablemente una secuencia única en la historia de más de medio siglo (1420-1480), con una concentración de X(IX)₂ en el polinomio de casi un 10%, elevada si se considera que este subtipo no aparece nunca más, salvo con menor fuerza, a mediados del presente siglo (Fernández Cancio *et al.*, 1997). Una circunstancia similar se da con el subtipo mediterráneo estepario IV(VII), que aumenta su frecuencia a la par que el X(IX)₂.

En Cazorla se encuentran algunos ejemplares de *Pinus nigra* que son los árboles más viejos conocidos en España, con más de 900 años. La estación relativamente próxima de Arguellite es una de las pocas que en los períodos de cambio fitoclimático general pasa a situaciones más propias para este tipo de árboles, realizando la transición desde subtipos mediterráneos a nemoromediterráneos, lo que podría favorecer su mayor longevidad.

Autores como Font Tullot (1988) señalan la importante deforestación que tuvo lugar en todo el país como consecuencia de la P.E.G., unida a otros factores como el auge de la industria naval. Considerando sólo los factores climáticos, de la discusión anterior se desprende que sí hubo alteraciones fitoclimáticas muy notables en casi toda la península, muchas de las cuales pudieron provocar cambios en la distribución de las especies vegetales existentes.

Los últimos años se caracterizan por ser una etapa de considerables alteraciones, con grandes sequías seguidas por etapas de cierta recuperación. Ello llevó al debilitamiento y a veces a la muerte de la vegetación en importantes superficies de montes (R. Montoya, 1995), con mejoras o empeoramientos que viene dados por el aumento o disminución estacional de la precipitación. Considerando el cambio fitoclimático como una variación sostenida y trascendente que afecta de forma irreversible a la vegetación, este tipo de fenómenos pueden estar inducidos por la variabilidad del clima

mediterráneo a lo largo de la historia, y pueden no ser irreversibles. En todo caso la aparición de nuevos hechos, como la elevada variabilidad interanual, colocan un elemento de incertidumbre en el futuro (Fernández Cancio, 1997).

CONCLUSIONES

Este trabajo se ha dedicado al estudio de la evolución fitoclimática de diversas estaciones españolas, de acuerdo con el sistema fitoclimático de J.L.Allué (1995). El método de reconstrucción es una nueva versión del método tradicional y permite obtener la señal macroclimática con gran fiabilidad.

El trabajo se ha enfocado al análisis de los cambios fitoclimáticos globales, pudiéndose destacar las siguientes conclusiones: Las alteraciones más intensas tienen lugar entre 1450 y 1550 y son las más importantes del milenio, coincidiendo en parte con la fase inicial de la Pequeña Edad Glacial. En esta época prácticamente todas las estaciones estudiadas indican importantes alteraciones, por anomalías o por saltos a subtipos distintos del principal. En general se produce un aumento de la aridez, una disminución de la precipitación y una disminución de la temperatura, aunque en este último caso hay excepciones con localización geográfica dispersa. La situación se reproduce a finales del siglo XVII. Las últimas décadas del siglo XIX y el primer tercio del siglo XX se caracterizan por pérdidas de genuinidad y anomalías, con tendencias parecidas a las indicadas en los otros períodos. A continuación, hasta nuestros días, son significativas las alteraciones en el polinomio, en unas secuencias interanuales que, en muchos casos, no se habían dado nunca durante el milenio.

Desde el punto de vista fitológico, la época que parece haber tenido más trascendencia en los posibles cambios de distribución de la cubierta vegetal fue la que ocurrió en torno al año 1500. Dichas alteraciones pueden explicar, al menos parcialmente, las máximas edades encontradas en la mayor parte de los lugares muestreados.

AGRADECIMIENTOS

A J.L. Allué Andrade, por su sistema fitoclimático y por su constante aliento y apoyo en la elaboración de la metodología para su extensión temporal.

A los investigadores que han proporcionado generosamente muchas de las cronologías utilizadas en el trabajo: J. Creus Novau, M. Génova Fuster, I. Yuste Heredero, A. Pérez Antelo y E. Rodríguez Trobajo.

SUMMARY

Phytoclimatic evolution of the last centuries in Spain based on dendroclimatic reconstructions

In this work a new version of the methodology for phytoclimatic reconstruction of the past is described, based on growth tree-ring series. Employing this methodology the phytoclimatic analysis of some centuries is carried out, using climatic information from several meteorological Spanish stations. The reconstructions often expand backward in time to the 11th century. The main tools for the analysis

are supra-annual elaborations, which integrate the phytoclimatic data of a period, and frequency polynomials, which take into account the variability.

KEY WORDS: Climatology
Phytoclimatology
Dendroclimatology
Climatic change

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLUÉ ANDRADE J.L., 1990. Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. Madrid. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (MAPA) 221 pp.
- ALLUÉ ANDRADE J.L., FERNÁNDEZ CANCIO A., 1993. Estado actual y expectativas de la fitoclimatología forestal. Aspectos fitológicos y dendrológicos. Actas del Congreso Forestal Español Lourizán-1993 (Tomo I), 71-85.
- CREUS NOVAU J., FERNÁNDEZ CANCIO A., 1992. Cuantificación del clima del pasado a partir de series dendrocronológicas. Síntesis metodológica. Actas del 5º Coloquio de Geografía Cuantitativa. Universidad de Zaragoza, 393-407.
- FERNÁNDEZ CANCIO A., 1997. Naturaleza y significado de "La Seca". *Vida rural*, año IV, nº 40: 56-58.
- FERNÁNDEZ-CANCIO A., GÉNOVA M., CREUS J., GUTIÉRREZ E., 1996. Dendroclimatological investigation for the last 200 to 400 years in Central Spain. In Dean, J.S.; Meko, D.M.; Swetnam, T.W. (eds.) *Tree-Rings, Environment and Humanity*. Radiocarbon, 181-190.
- FERNÁNDEZ CANCIO A., MANRIQUE MENÉNDEZ E., 1997. Nueva metodología para la reconstrucción dendroclimática y aplicaciones más importantes. Fernández Cancio, Edt. Madrid, 130 pp.
- FERNÁNDEZ CANCIO A., MANRIQUE MENÉNDEZ E., CREUS NOVAU J., GÉNOVA FUSTER M., 1997. Evolución climática del entorno de Covalada/Vinuesa durante el último milenio: Nuevos métodos de reconstrucción (En prensa).
- FONT TULLOT I., 1988. Historia del Clima en España. Madrid. Instituto Nacional de Meteorología. 297 pp.
- FRITTS H.C., 1976. *Tree-Rings and Climate*. London. Academic Press, 567 pp.
- GÉNOVA FUSTER M., 1994. Dendroecología de *Pinus nigra* Arnold, subsp. *salzmanii* (D) Franco y *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central y en la Serranía de Cuenca (España). Tesis Doctoral (inérita) Universidad Autónoma de Madrid, 460 pp.
- MANRIQUE MENÉNDEZ E., 1997. Nuevos métodos de reconstrucción de reconstrucción dendroclimática. Aplicaciones al estudio climático y fitoclimático del último milenio. Tesis Doctoral (inérita). Universidad Politécnica de Madrid, 327 pp.
- MANUEL VALDÉS C.M., 1996. Tierras y montes públicos en la sierra de Madrid (sectores centra y meridional). Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, 561 pp.
- MONTOYA MORENO R., 1995. Red de seguimiento de daños en los montes. Daños originados por la sequía en 1994. Cuadernos de la SECF, nº 2. Madrid, 83-97.
- RICHTER K., 1988. Dendrochronologische und dendroclimatologische untersuchungen und keifern (*Pinus spp.*) in Spanien. Tesis doctoral. Universidad de Hamburgo. 298 pp.
- VILLA SÁNCHEZ D., GUERRA SIERRA J., CORRES ARGOTE R., 1985. Análisis estadístico de la pluviometría de la Península Ibérica. Instituto Nacional de Meteorología. Publicación A-132. Madrid, 37 pp.