

ESTUDIO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO Y SU RELACION CON LAS VARIABLES METEOROLOGICAS EN EL PINAR DE LILLO (LEON)

M. GÉNOVA FUSTER¹

RESUMEN

Se presenta un estudio dendrocronológico de los anillos de crecimiento en una población relicta de *Pinus sylvestris* en la Cordillera Cantábrica (León, España), donde se han localizado algunos de los ejemplares más longevos de esta especie en España. Se analiza la variabilidad de las series temporales obtenidas y se elabora una serie media local de 450 años. Se estudian las tendencias del crecimiento a lo largo de 4 siglos y se comparan con datos procedentes de localidades próximas. Mediante la función respuesta, esta cronología se correlaciona con las temperaturas y las precipitaciones medias mensuales del registro meteorológico de la ciudad de León, en el periodo 1941-1995 y en los subperiodos 1941-1985 y 1951-1995, obteniendo en estos últimos como factores más significativos la temperatura y precipitación del mes de Mayo, cuyos valores elevados favorecen el crecimiento.

Palabras clave: Dendrocronología, dendroclimatología, *Pinus sylvestris*, Lillo, León.

INTRODUCCION

El pinar de Lillo es una formación vegetal muy peculiar en la Cordillera Cantábrica, pues constituye un bosque de *Pinus sylvestris* L., enclavado en un área donde las frondosas configuran el paisaje vegetal actual. Se extiende en la confluencia de los arroyos del Páramo y del Pinar, afluentes del Porma, ocupando aproximadamente unas 160 hectáreas en el término municipal de Puebla de Lillo (León). Se pueden distinguir en el pinar una zona situada en las laderas noroccidentales, donde el pinar no es muy denso y va acompañado de rodales de abedul (*Betula alba*) y otra, en fondos de valle y laderas, con pinar más denso y presencia de robles (*Quercus petraea*) y hayas (*Fagus sylvatica*).

Distintos autores han resaltado la singularidad e interés ecológico, botánico y paisajístico de este bosque. Hasta muy recientemente no se han realizado estudios paleopolínicos y paleoxilológicos concretos (FRANCO *et al.*, 1996, GARCÍA *et al.*, 1997 y SÁNCHEZ *et al.*, en prensa) que confirman

la presencia autóctona de *Pinus sylvestris* en este enclave desde, al menos, hace unos 4500 años y permiten entender su origen y significado geobotánico, en el contexto de la evolución del paisaje del norte de España durante el Holoceno. Los pinares tuvieron una mayor extensión que la actual en toda la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica hacia finales del último máximo glacial, momento a partir del cual se reducen sus poblaciones a causa de la suavización climática acontecida a lo largo del Holoceno y por causas antrópicas. Sin embargo, los datos polínicos procedentes de la turbera de Lillo muestran una presencia continua de pinos a lo largo del periodo 1.700-100 BP (GARCÍA *et al.*, op. cit.). El pinar de Lillo supone, por tanto, un relicto de enorme interés que se ha conservado, como indican estos mismos autores, gracias a las peculiares condiciones de la zona, aunque también las características de su propiedad y uso han influido en su conservación.

En FRANCO *et al.* (op. cit.) ya se presentaba un avance sobre los primeros datos analizados de anillos de crecimiento, en muestras procedentes de árboles vivos de *Pinus sylvestris* y en otras de maderas subfósiles de este mismo taxón. Estas

¹ Escuela de Ingeniería Técnica Forestal. Avda. Ramiro de Maeztu s/n, 28040 Madrid.

últimas fueron localizadas en un yacimiento turboso situado a 1.300 m de altitud y a unos 50 m del cauce del arroyo del Pinar y la datación por radiocarbono de la muestra subfósil accesible más profunda indicó una edad de 4.380 +/- 50 años BP. El análisis de los anillos de crecimiento registró que las maderas subfósiles contenían un máximo de 150 anillos de grosores variables, que seguían las pautas habituales de crecimiento conocidas para esta especie en España.

Los datos de anillos de crecimiento procedentes de árboles vivos han sido completados y ampliados posteriormente y en el presente trabajo se recogen las aportaciones de la Dendrocronología y Dendroclimatología para el conocimiento de la longevidad y la variabilidad del crecimiento en esta población relictas, además de su relación con las variables climáticas. Asimismo amplía la red de cronologías españolas que, gracias al ingente trabajo de un pequeño grupo de dendrocronólogos, se extiende actualmente por numerosas localidades de nuestro país.

Entre otras aplicaciones de la Dendrocronología, un conjunto de cronologías locales puede utilizarse para reconstruir las variables meteorológicas de una estación determinada que cumpla una serie de condiciones (FRITTS, 1976) o, con nuevas técnicas desarrolladas en España (FERNÁNDEZ Y MANRIQUE, 1997), utilizando directamente las series individuales sincronizadas; en cualquier caso se requieren datos procedentes de diferentes localidades. En este trabajo analizamos los datos dendrocronológicos locales del pinar de Lillo, desde el punto de vista de la incidencia del clima en el crecimiento de los árboles y su posible uso para la reconstrucción dendroclimática.

MATERIAL Y METODOS

Metodología

Existen numerosas publicaciones generales y específicas que recogen los métodos y técnicas de estudio de la Dendrocronología y de sus aplicaciones (COOK Y KAIRIUKSTIS, 1990, entre otras muchas), por lo que en este trabajo únicamente se expone una síntesis que pretende destacar aquellos aspectos más significativos de nuestro trabajo en el pinar de Lillo.

En relación al muestreo, se ha procurado una recogida de información sobre la variabilidad del crecimiento lo más extensa posible en el tiempo, de manera que las muestras de árboles vivos procediesen de los ejemplares y rodales más longevos, que generalmente se localizan en situaciones desfavorables para el crecimiento y cuya dificultad de acceso ha restringido su aprovechamiento en el pasado.

Las técnicas empleadas para la extracción de muestras dendrocronológicas, su preparación y medición, han sido las habituales en este tipo de estudios (COOK Y KAIRIUKSTIS, op. cit.). De cada ejemplar seleccionado se extrajeron dos muestras o testigos con la barrena de Pressler en orientaciones opuestas, en general a favor y en contra de la pendiente. Dichas muestras se prepararon posteriormente para su medición en el laboratorio, tal como se propone en GÉNOVA *et al.* (1993), midiéndose a continuación, con una precisión de centésimas de milímetro, cada uno de los anillos de crecimiento de cada muestra, mediante el lector semiautomático y el soporte informático «Catras» (ANIOL 1988).

A continuación se procedió a la sincronización y posterior datación de las series individuales de crecimiento, en que se emplean una serie de técnicas diversas basadas en la comparación visual de las gráficas y en análisis estadísticos que hacen corresponder cada anillo de crecimiento concreto con la fecha exacta de su formación. Entre otros, el estudio de la correlación por periodos que realiza el programa «Cofecha» (incluido como subprograma del «International Tree Ring Data Bank» o ITRDB, GRISSINO-MAYER *et al.*, 1997) constituye una técnica muy adecuada para analizar la correcta sincronización entre series.

Las series sincronizadas y datadas poseen características comunes en sus patrones de crecimiento, pero longitudes muy diferentes según la edad de los individuos. Para poder promediarse entre sí y elaborar una cronología local media, se estandarizan mediante diferentes técnicas, aunque en la actualidad la propuesta más frecuente es la utilización de métodos *spline* que permiten eliminar tendencias u oscilaciones exclusivamente individuales (COOK Y KAIRIUKSTIS, op. cit.). En el promedio final o cronología local, que resulta representativa de la variabilidad general del creci-

miento en la localidad, los datos son índices de crecimiento y constituye, por tanto, una serie estacionaria en el tiempo con media estabilizada y varianza homogénea. El conjunto de programas del ITRDB facilita la aplicación de esta metodología, aunque sigue siendo imprescindible la decisión personal del investigador, especialmente en la sincronización, que constituye el proceso más complejo y laborioso.

Uno de los métodos de análisis matemático más habitual, en la actualidad, para estudiar la relación entre las variables climáticas y las series de crecimiento, consiste en la elaboración de la función respuesta, que modeliza de forma objetiva la información climática contenida en las series dendrocronológicas. Además, aún con la necesaria cautela requerida en cualquier análisis estadístico, puede considerarse como la expresión media de los factores climáticos que afectan a una población arbórea en un determinado tiempo (GÉNOVA, 1994). El programa estadístico empleado («Precon», FRITTS, 1994), permite analizar hasta un máximo de 38 parámetros, aunque para evitar una excesiva disminución de grados de libertad, se han empleado 31 que se corresponden con la temperatura y precipitación media mensual de 15 meses y el crecimiento del año. De esta manera se correlaciona cada año de crecimiento con las variables mensuales correspondientes desde Julio del año anterior al crecimiento hasta Septiembre del año de crecimiento, recogiendo la posible incidencia de los factores previos a la estación vegetativa (FRITTS *et al.*, 1991).

Obtención de muestras

La extracción de muestras en el pinar de Lillo se ha realizado en sucesivas campañas, siendo la más intensiva la de mayo de 1996. El total de árboles muestreados fue de 25, cifra que supera ligeramente el número que se recomienda para asegurar un estudio dendrocronológico exhaustivo en formaciones poco extensas (COOK & KAIRIUKSTIS, 1990).

Los primeros testigos se extrajeron de tres ejemplares situados en las cotas inferiores del pinar, entre 1.400 y 1.500 m, donde se desarrolla un bosque con individuos de gran tamaño con fustes muy gruesos y regulares (de hasta 25 m de

altura y en torno a 1 m de diámetro basal), próximo a la casa forestal, en la zona más llana y con menores pendientes. Su interés para nuestro trabajo fue desestimado casi desde el principio, por su escasa longevidad, eligiéndose otras localizaciones más apropiadas en sucesivos muestreos. Así pues, las muestras analizadas proceden en su mayor parte de la cabecera del Arroyo del Pinar, entre 1.600 y 1.700 m de altitud (donde se sitúa aproximadamente el límite forestal actual), generalmente en aquellos emplazamientos más desfavorables para el desarrollo, con pendientes elevadas (entre el 30-40%) y/o sobre sustratos rocosos, especialmente en orientaciones noroeste y suroeste, con individuos en general de dimensiones más modestas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de las series individuales de crecimiento y elaboración de la cronología media

Las series temporales de crecimiento analizadas en esta población de *Pinus sylvestris* presentan algunas características interesantes en cuanto a su longevidad y variabilidad. En primer lugar, es importante reseñar que un tercio de los individuos muestreados sobrepasan los 300 años de edad y, además, 4 de ellos alcanzan más de 400 años, estimándose la edad máxima en 450 años. Esta edad solo es superada en España, para esta especie, por algunos individuos de la Sierra de Guadarrama, donde el ejemplar más longevo alcanza los 480 años (GÉNOVA *et al.*, 1993 y datos sin publicar), aunque se conocen en áreas europeas septentrionales ejemplares de más de 770 años (ECKSTEIN & PILCHER, 1982).

Tal como ocurre en otras localidades españolas no siempre los individuos de mayor talla son los que alcanzan mayor longevidad. Por ejemplo, los que se sitúan en las proximidades de la casa forestal no superan los 150 años de edad aunque, a su vez, son los que registran mayores crecimientos, de hasta 0.30 cm de incremento anual medio. En el otro extremo, los individuos más longevos, que habitan a mayor altitud y en condiciones más extremas en cuanto a calidad de suelo, se caracterizan por sus menores dimensiones y registran crecimientos medios que oscilan desde 0.05 hasta 0.10 cm.

Las series presentan una tendencia habitual que se corresponde con una disminución del crecimiento en relación a la edad, la cual se ajusta con bastante aproximación a una curva exponencial decreciente. A esta tendencia se superponen, en la mayor parte de los casos, ciclos u oscilaciones de longitud diversa, episódicos y heterogéneos, que no son comunes ni con las series procedentes de otros individuos cercanos ni con la correspondiente al mismo individuo en orientación diferente. Este frecuente patrón de crecimiento se suele relacionar con fenómenos de competencia, variaciones en la extensión y/o morfología de la copa y con tratamientos selvícolas, entre otros (GÉNOVA, 1994).

Sin embargo, en un 35% de las series se ha observado, además, una notable variación de la tendencia durante el presente siglo, que se expresa como un descenso muy acusado del crecimiento. Esta disminución queda patente en ambas series correspondientes a cuatro árboles, tres de los cuales se encuentran entre los individuos más longevos, pero el otro casi no supera los 200 años. Dos de ellos presentan unos anillos tan estrechos en este último siglo, que su medición ha sido enormemente dificultosa y por ello, por ejemplo, la serie correspondiente a la cara oeste del árbol número 10 sólo se ha podido datar hasta 1929 (ver Tabla I). Además, también destaca este descenso en otras series individuales con diferentes

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE LAS SERIES DE CRECIMIENTO INDIVIDUALES INCLUIDAS EN LA CRONOLOGIA LOCAL DE LILLO

Series	Intervalo	Años	Incr. Medio	Desv. Std	Autocorr.	Sens. media
05N	1703 1987	285	.54	.351	.870	.250
06E	1735 1988	254	1.01	.396	.843	.172
06O	1732 1973	242	1.33	.478	.775	.182
07N	1655 1988	334	1.05	.600	.882	.188
08N	1801 1988	188	1.05	.752	.902	.232
08S	1774 1988	215	1.53	1.208	.923	.228
09N	1576 1995	420	.51	.264	.750	.265
09S	1568 1994	427	.48	.278	.812	.274
10N	1586 1986	401	.61	.446	.840	.282
10W	1546 1929	384	.50	.308	.802	.287
14W	1641 1994	354	.55	.389	.893	.251
16W	1747 1995	249	1.23	.510	.732	.236
17S	1730 1995	266	.71	.443	.896	.194
17N	1730 1995	266	1.09	.912	.936	.197
18E	1707 1995	289	.86	.297	.601	.238
19E	1734 1995	262	.90	.722	.890	.286
19W	1714 1995	282	1.07	.772	.860	.274
20E	1769 1995	227	1.28	.840	.876	.260
20O	1766 1995	230	.94	.466	.820	.228
21W	1778 1995	218	1.20	.694	.857	.241
21E	1804 1995	192	1.27	.836	.886	.230
22E	1791 1995	205	1.20	.568	.864	.212
22W	1826 1995	170	1.77	1.080	.906	.198
23W	1768 1995	228	.97	.582	.782	.284
23E	1770 1995	226	.94	.693	.886	.295
24E	1758 1995	238	1.32	.907	.887	.242
25W	1821 1995	175	1.80	.980	.808	.264
25E	1823 1995	173	1.31	.992	.895	.284
Total o media:		7784	.94	.568	.840	.243

Incr. Medio: Incremento medio de los anillos de crecimiento (grosor medio en mm).

Desv. Std.: Desviación estándar.

Autocorr.: Autocorrelación de orden 1.

Sens. Media: Sensibilidad media, coeficiente que mide las diferencias relativas acumuladas entre los crecimientos de años consecutivos.

orientaciones, mientras que los estudios realizados en ejemplares aún más añosos de la Sierra de Guadarrama (GÉNOVA, 1994) no presentan declives tan acusados. Por tanto, aunque podría argumentarse que dicha disminución se corresponde con la decrepitud, también parecen intervenir razones de otra índole.

Finalmente, en cuanto a la localización de los anillos ausentes (irregularidades del crecimiento que constituyen uno de los principales problemas que se plantean en una adecuada datación), se ha constatado que son las primeras décadas de este siglo donde se concentran la gran mayoría de estas anomalías del crecimiento en grosor.

En la elaboración de la cronología media, que hemos denominado LILLO, se han empleado los métodos habituales de estandarización de las series individuales y análisis estadístico que propone el programa «Arstan» (incluido como subprograma del ITRDB). Previamente se ha seguido un riguroso proceso de selección, desechando aquellas series individuales que no sincronizan adecuadamente con el conjunto de la población analizada o cuya intercorrelación (según el programa «Cofecha») es significativamente menor que la media (aunque solo fuera durante una etapa de crecimiento), aceptándose finalmente 29 series de crecimiento procedentes de 17 individuos (Tablas I y II).

TABLA II
VALORES DE LA CORRELACION POR PERIODOS DE LAS SERIES INDIVIDUALES DE LILLO SEGUN EL PROGRAMA COFECHA

Seq.	1550 1599	1575 1624	1600 1649	1625 1674	1650 1699	1675 1724	1700 1749	1725 1774	1750 1799	1775 1824	1800 1849	1825 1874	1850 1899	1875 1924	1900 1949	1925 1974	1950 1999
05N	-	-	-	-	-	-	.39	.46	.53	.64	.59	.40	.43	.51	.51	.54	.57
06E	-	-	-	-	-	-	-	.42	.33	.50	.60	.56	.68	.58	.45	.55	.57
06O	-	-	-	-	-	-	-	.50	.57	.72	.66	.44	.57	.60	.56	.68	-
07N	-	-	-	-	.34	.49	.56	.52	.56	.71	.71	.69	.66	.56	.43	.57	.55
08N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.71	.60	.61	.66	.62	.55	.55
08S	-	-	-	-	-	-	-	-	.50	.54	.60	.65	.63	.57	.48	.47	.48
09N	-	.62	.62	.64	.58	.48	.50	.49	.44	.54	.56	.44	.24	.18	.47	.52	.44
09S	.64	.71	.73	.68	.65	.64	.53	.53	.37	.41	.61	.26	.23	.30	.36	.48	.46
10N	-	.70	.67	.64	.62	.48	.42	.46	.39	.61	.68	.67	.63	.46	.47	.45	.33
10W	.58	.65	.76	.73	.65	.61	.53	.45	.38	.39	.45	.39	.29	.22	.23	-	-
14W	-	-	-	.59	.62	.61	.52	.43	.20	.28	.59	.68	.57	.40	.51	.72	.44
14S	-	-	.59	.56	.60	.56	.54	.60	.55	.55	.61	.65	.59	.34	.38	.65	.51
16W	-	-	-	-	-	-	-	.56	.54	.57	.64	.66	.59	.50	.55	.59	.59
17S	-	-	-	-	-	-	-	.67	.64	.71	.59	.43	.46	.47	.42	.41	.36
17N	-	-	-	-	-	-	-	.45	.57	.68	.55	.51	.54	.41	.41	.42	.42
18E	-	-	-	-	-	-	.65	.66	.51	.57	.70	.63	.54	.46	.48	.69	.72
19E	-	-	-	-	-	-	-	.47	.56	.76	.78	.77	.79	.76	.63	.40	.45
19W	-	-	-	-	-	.28	.50	.56	.72	.79	.74	.84	.74	.50	.57	.71	.71
20E	-	-	-	-	-	-	-	.70	.70	.70	.67	.70	.79	.63	.55	.58	.66
20O	-	-	-	-	-	-	-	.52	.56	.53	.68	.71	.55	.52	.62	.59	.59
21W	-	-	-	-	-	-	-	-	.59	.62	.68	.71	.49	.37	.46	.52	.52
21E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.54	.65	.80	.69	.56	.61	.64	.64
22E	-	-	-	-	-	-	-	-	.58	.54	.64	.70	.50	.51	.59	.61	.61
22W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.44	.67	.58	.49	.58	.67	.67
23W	-	-	-	-	-	-	-	.76	.74	.68	.66	.58	.40	.40	.53	.65	.65
23E	-	-	-	-	-	-	-	.70	.72	.60	.53	.57	.45	.45	.61	.76	.76
24E	-	-	-	-	-	-	-	.61	.45	.48	.70	.72	.51	.46	.58	.62	.62
25W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.42	.43	.66	.58	.58	.66	.69	.69
25E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.49	.47	.64	.36	.32	.58	.67	.67

Seq.: secuencias o series individuales.

Comparación con otras cronologías próximas

Se ha comparado la variabilidad, mediante diferentes técnicas, de la cronología local de Lillo con la de cronologías elaboradas por otros autores en el Sistema Ibérico septentrional (CREUS Y FERNÁNDEZ, 1997), tres de ellas también procedentes de *Pinus sylvestris* y una (VINUESA) elaborada en base a series de *Pinus uncinata*. El programa «Arstan» elabora distintas versiones de una misma cronología, la versión «estandar» que consiste en la media de las series datadas y sincronizadas, la «residual» en que se aplica un modelo autorregresivo a las series estandarizadas y la «arstan» que incorpora el modelo autorregresivo a la serie residual. Se han analizado los datos correspondientes a las dos primeras versiones, pues la «arstan» no ofrece más información, aunque se presentan en las Tablas III y IV únicamente los referentes a la versión estandar, dado que son suficientemente representativos.

En el análisis de correlación por periodos se observa que las correlaciones en el periodo inicial (1525-1625) son inferiores al mínimo signifi-

cativo (0.32) e indican diferencias notables entre las cronologías, posiblemente a causa del escaso número de series que alcanzan este periodo y a su juventud en este momento, cuando los patrones de crecimiento suelen ser más diversos. A partir del año 1600 y hasta la actualidad, la correlación es lo suficientemente elevada para constatar que todas estas cronologías están bien datadas y oscilan de manera semejante y, en los últimos dos siglos, esta se incrementa entre NEILA, COVALEDA y HERIDA, quizás por proceder de localidades próximas y estar elaboradas con la misma especie. Asimismo, el coeficiente t de «Catras», que determina y cuantifica la calidad de sincronización entre series, señala coincidencias elevadas entre todas las cronologías, siendo superior a 8 entre LILLO y el resto de las cronologías, excepto con VINUESA en que es igual a 7.10.

Además se han estudiado las oscilaciones y tendencias de estas cinco cronologías a lo largo del periodo común para todas ellas (1609-1992), tras un previo suavizado mediante la media móvil de 11 términos y la función polinómica de 5 términos (Figs. 1 y 2). Ambas gráficas resaltan la com-

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DE DIVERSAS CRONOLOGÍAS LOCALES

Cronologías	Intervalo	Años	Desv. std.	Autocorr.	Sens. media
LILLO	1546 1995	450	.208	.467	.172
VINUESA	1465 1992	528	.139	.268	.133
NEILA	1587 1992	406	.160	.417	.137
COVALEDA	1609 1992	384	.162	.462	.137
HERIDA	1562 1993	432	.185	.506	.142
Total o media:		2200	.170	.417	.144

Desv. Std.: Desviación estandar.

Autocorr.: Autocorrelación de orden 1.

Sens. Media: Sensibilidad media.

TABLA IV
VALORES DE LA CORRELACION POR PERIODOS DE LAS CRONOLOGÍAS LOCALES

Series	1525	1550	1575	1600	1625	1650	1675	1700	1725	1750	1775	1800	1825	1850	1875	1900	1925	1950
	1574	1599	1624	1649	1674	1699	1724	1749	1774	1799	1824	1849	1874	1899	1924	1949	1974	1999
Lillo	.15	.19	.17	.38	.44	.54	.66	.52	.33	.36	.73	.73	.41	.49	.52	.38	.52	.58
Vinuesa	.21	.26	.47	.47	.53	.62	.47	.51	.44	.48	.66	.65	.56	.58	.63	.33	.44	.64
Neila	-	-	.33	.47	.55	.50	.43	.54	.53	.55	.74	.75	.63	.71	.70	.56	.73	.81
Covaleda	-	-	-	.53	.60	.66	.67	.73	.68	.68	.71	.71	.72	.73	.75	.70	.80	.84
Herida	-	.18	.14	.50	.60	.56	.59	.63	.56	.55	.69	.73	.70	.76	.75	.42	.47	.79

parativamente elevada variabilidad en LILLO, tal como asimismo indican los valores de la desviación estandar y la sensibilidad media, máximos para esta cronología (veáse Tabla III). Entre 1600 y 1700, la tendencia del crecimiento fue en general descendente, mientras que en los siglos XVIII y XIX se mantiene estable si se exceptúan VINUESA, con tendencia descendente en el primero, y LILLO, que muestra oscilaciones marcadas de ascenso y descenso, respectivamente. En el siglo XX destaca el descenso y posterior recuperación en HERIDA, mientras que en LILLO sucede lo contrario; el resto de las series son estables excepto en las últimas décadas donde se reconoce una cierta tendencia al descenso, muy notable en LILLO, lo cual se corresponde con las oscilaciones observadas en las series individuales.

Análisis de la función respuesta

En el estudio de las relaciones entre el clima y el crecimiento se ha elegido, como fuente de datos

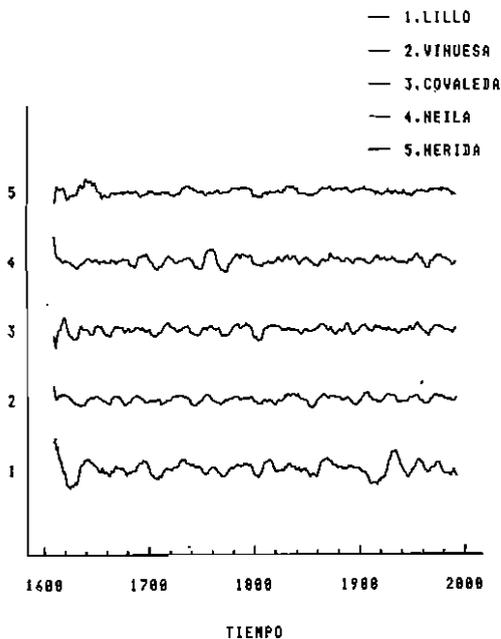


Fig. 1. Oscilaciones de los índices dendrocronológicos, a lo largo del periodo común, suavizadas mediante la aplicación de medias móviles de 11 términos (empleando el programa «Statgraphics»), en VINUESA, HERIDA, NEILA, COVALEDA y LILLO.

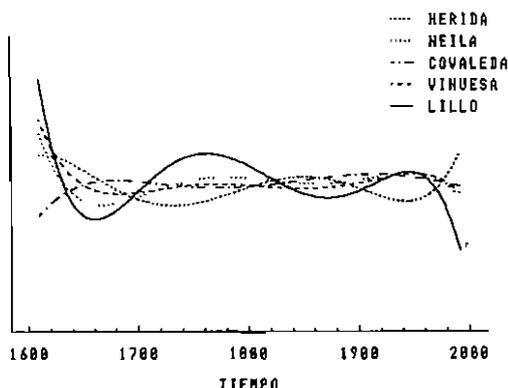
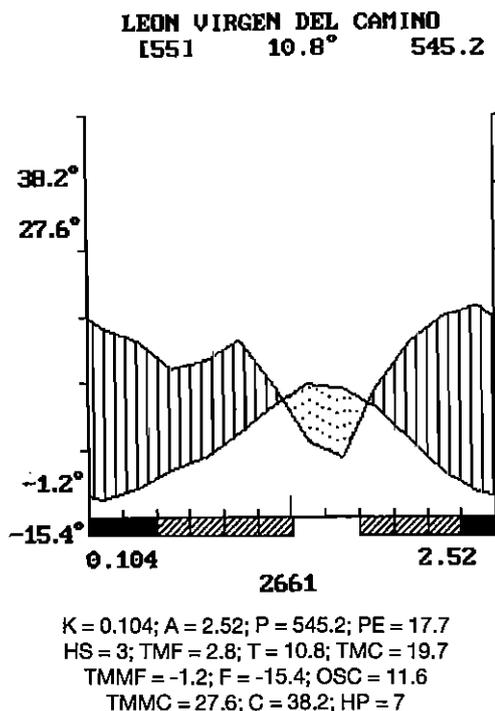


Fig. 2. Oscilaciones de los índices dendrocronológicos, a lo largo del periodo común, suavizadas mediante la aplicación de polinomios de 5 términos (empleando el programa «Statgraphics»), en VINUESA, HERIDA, NEILA, COVALEDA y LILLO.

meteorológicos, el registro de la estación de la ciudad de León «Virgen del Camino» situado a 913 m de altitud y proporcionado por el Instituto Meteorológico Nacional, que posee datos térmicos y pluviométricos. Aunque en la localidad de Puebla de Lillo, más próxima a la zona de muestreo, también existe un observatorio meteorológico, éste solo recoge información sobre la precipitación desde 1952, por lo que sus datos se han considerado insuficientes para aplicar el modelo estadístico de la función respuesta que elabora el programa «Precon».

El registro de León posee datos desde 1909, pero estos son muy incompletos en la primera mitad de siglo, especialmente en cuanto a la precipitación, por ello sólo se han utilizado en este trabajo los valores de precipitación y temperatura media mensual desde 1941 a 1995 (55 años), completándose los datos mensuales faltantes de algunos años durante este periodo usando uno de los subprogramas del ITRDB. En la Figura 3 se observa el climodiagrama del compendio que caracteriza a dicho registro.

Las funciones respuesta —frente al registro meteorológico completo— de las versiones «estandar» (Fig. 4) y «residual» de la cronología de Lillo, muestran una elevada y muy similar respuesta a las variables climáticas y el efecto del crecimiento de años anteriores (que también se puede



VI (IV) 1
NEMOROMEDITERRANEO GENUINO

Fig. 3. Climodiagrama de los datos del compendio del registro meteorológico de León, en el periodo 1941-1995 (elaborado mediante el programa «Climoal»).

incluir como variable dependiente) no modifica el sentido ni la significación de las variables. Además, la función teórica basada en los datos meteorológicos representa de manera muy ajustada los valores reales de crecimiento (véase Fig. 5), lo cual parece indicar una clara correspondencia entre la variabilidad del crecimiento de las series del pinar de Lillo y los datos meteorológicos de León, aunque estos sólo sean representativos de las fluctuaciones climáticas reales acontecidas en el enclave del pinar.

La incidencia más significativa de la temperatura se concentra especialmente en dos periodos: en el verano y comienzos del otoño del año anterior, donde la correlación es negativa (significativa para los meses de Agosto y Septiembre), mientras que durante la estación de crecimiento el signo de la correlación es variable, siendo posi-

vo y significativo en Mayo y negativo en Junio y Julio (con significación que varía entre ambos meses según la versión de la cronología). Es decir, temperaturas elevadas en verano y principios del otoño del año anterior no favorecen el crecimiento del siguiente año, quizás porque no contribuyen a la formación de sustancias de reserva sino a la prolongación del periodo vegetativo anterior. Por otra parte, la acción positiva de temperaturas cálidas en Mayo del año de crecimiento es posible interpretarla en relación a una iniciación más temprana de la actividad cambial; mientras que más adelante las temperaturas elevadas parecen actuar conjuntamente con la escasez de precipitación produciendo menores crecimientos.

Los efectos beneficiosos de la precipitación se destacan en Enero y con mayor significación general a lo largo del posible periodo de crecimiento, desde Abril hasta Julio, mes en que presenta un valor significativo.

Diversos estudios dendroclimáticos realizados en Europa, demuestran que las coníferas que crecen en zonas frías y húmedas de los Alpes, Escandinavia y Escocia, contienen sobre todo información sobre las temperaturas de los meses estivales (SCHWEINGRUBER, 1988) y así éstas se han podido reconstruir en Europa a lo largo de 1400 años (BRIFFA *et al.*, 1990). Sin embargo, en las funciones respuesta obtenidas para *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama (GÉNOVA, 1994 y GÉNOVA *et al.*, 1997) y en diferentes localidades catalanas -Prepirineo, Montseny y Prades- (GUTIÉRREZ 1990), se reconoce que el factor más limitante y, por tanto, más correlacionado con el crecimiento son las precipitaciones estivales. En el pinar de Lillo tanto la temperatura como la precipitación actúan sobre la variabilidad del crecimiento, aunque las funciones que analizan por separado la contribución de cada variable en 1941-1995 muestran que la temperatura parece incidir sobre el crecimiento un 20% más que la precipitación y, por tanto, podría corresponderse con una situación intermedia entre las citadas anteriormente.

En la Sierra de Guadarrama el periodo de análisis de la función respuesta frente a la estación de Navacerrada se circunscribía a 45 años, en razón de la longitud de las series y del registro meteorológico (GÉNOVA *et al.*, 1997). Para el número

FUNCIÓN RESPUESTA DE LILLO
 TEM & PRE, 1941-1995, N= 55
 SD REP, Rd .899+/- .032, Ri .296+/- .217
 RSQ: CL= .687

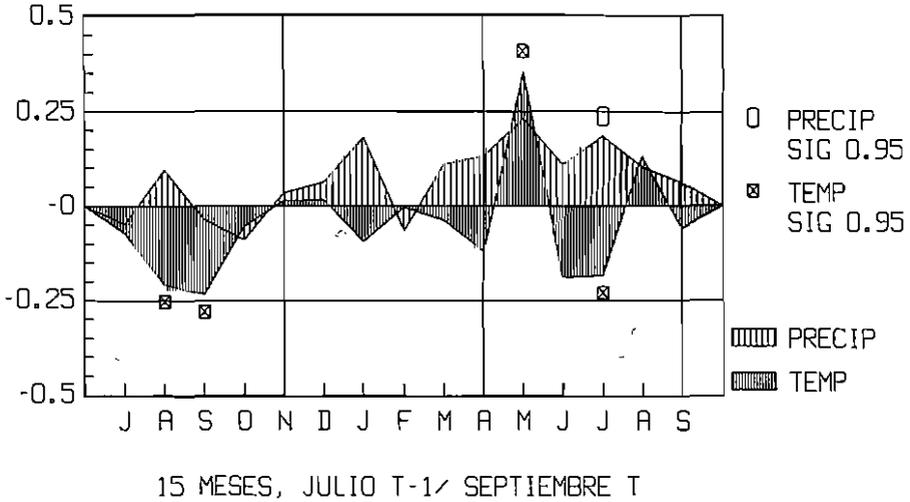


Fig. 4. Representación gráfica de la Función Respuesta de la cronología de LILLO frente a los datos mensuales del registro meteorológico de León en el periodo 1941-1995 (elaborada mediante el programa «Graph-in-the-box»).

VALORES REALES Y ESTIMADOS DE LILLO
 1941-1995
 RE= .69, SD Y,EST,RES= .175 .125 .096

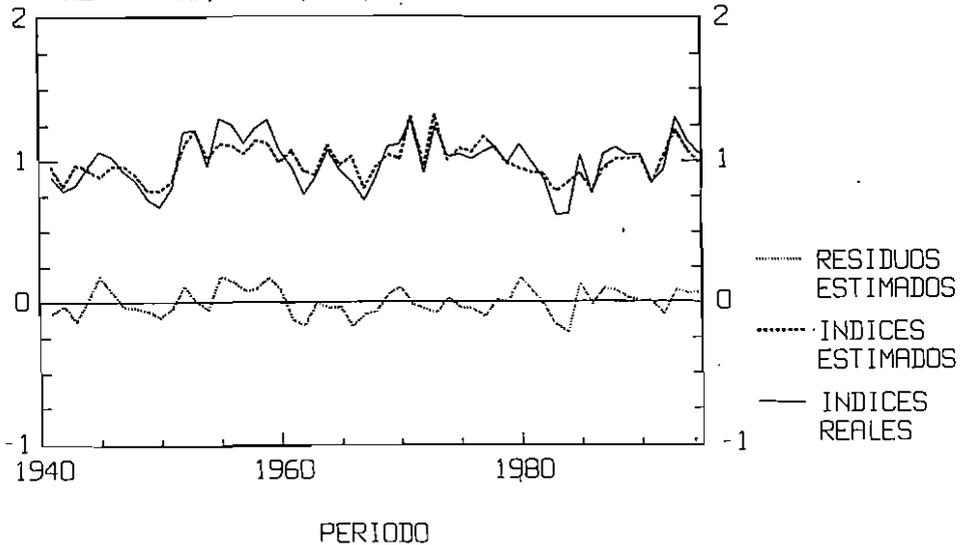


Fig. 5. Representación gráfica de los valores reales, estimados y de sus residuos en el periodo 1941-1995 de la cronología de LILLO (elaborada mediante el programa «Graph-in-the-box»).

de variables considerado no se recomienda un periodo mucho menor de análisis, pues se disminuyen los grados de libertad y los resultados son menos fiables. Así, con esta misma longitud se han elaborado otras funciones respuesta de LILLO en dos subperiodos: 1941-1985 y 1951-1995, para comprobar si existen diferencias en el efecto de las variables climáticas. Tal como se observa en las Figuras 6 y 7, la correlación se incrementa notablemente en el segundo subperiodo y la significación de las variables se reduce al mes de Mayo, donde valores elevados de temperatura y precipitación media favorecen el crecimiento y, además, la contribución de la precipitación supera ligeramente a la temperatura.

Se ha estudiado en detalle el registro meteorológico de León y su evolución temporal, mediante el programa «Climoal» (MANRIQUE, 1994), para intentar reconocer las posibles causas que puedan

explicar las diferencias observadas en el efecto de las variables climáticas en los distintos periodos. No se han observado, en general, variaciones sustanciales ni de los índices fitoclimáticos ni de los fitoclimas, entre el periodo total y los dos subperiodos analizados, ni en la evolución de los índices térmicos y pluviométricos de todo el periodo, donde no se reconocen fases que se alejen significativamente de la media.

En cuanto a las fluctuaciones de las variables más significativas para el crecimiento en ambos subperiodos, la temperatura y la precipitación en el mes de Mayo (Figura 8), se pueden reseñar como más notables las sucedidas en el periodo 1967-1985, 18 años en los que la temperatura desciende—excepto en 3 años—por debajo de la media y que incluye el mínimo de 1984, mientras que el periodo 1981-1987 (7 años) resulta ser el más largo en el que las precipitaciones descienden por debajo de la media e incluye dos de los meses de

FUNCION RESPUESTA DE LILLO
 TEM & PRE, 1941-1985, N= 45
 50 REP, Rd. .915+/- .046, R1 .304+/- .184
 RSQ: CL= .678

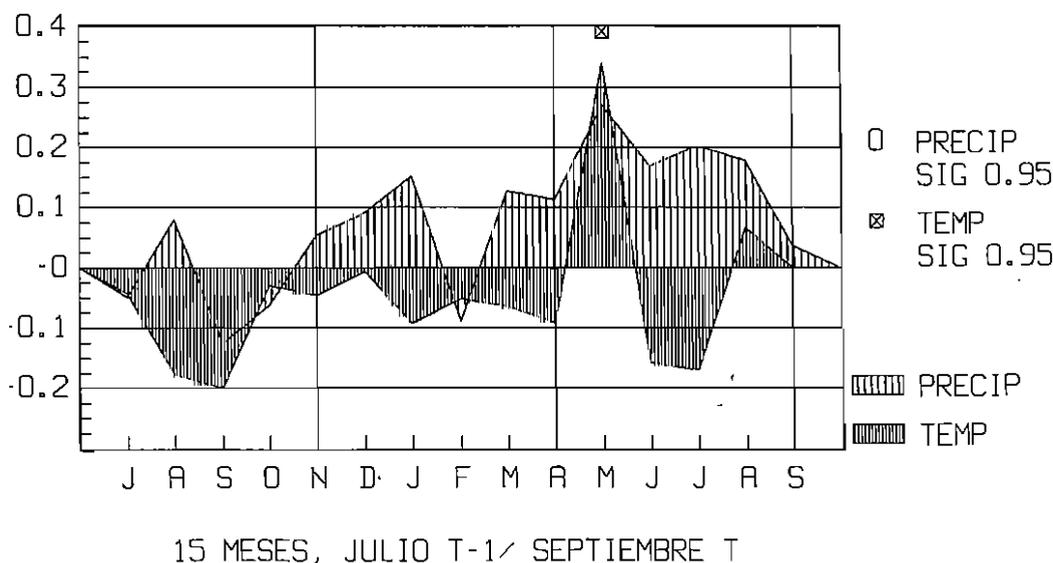


Fig. 6. Representación gráfica de la Función Respuesta de la cronología de LILLO frente a los datos mensuales del registro meteorológico de León en el subperiodo 1945-1985 (elaborada mediante el programa «Graph-in-the-box»).

FUNCION RESPUESTA DE LILLO
 TEM & PRE, 1951-1995, N= 45
 50 REP, Rd: .934+/- .029, Ri: .288+/- .245
 RSQ: CL= .754

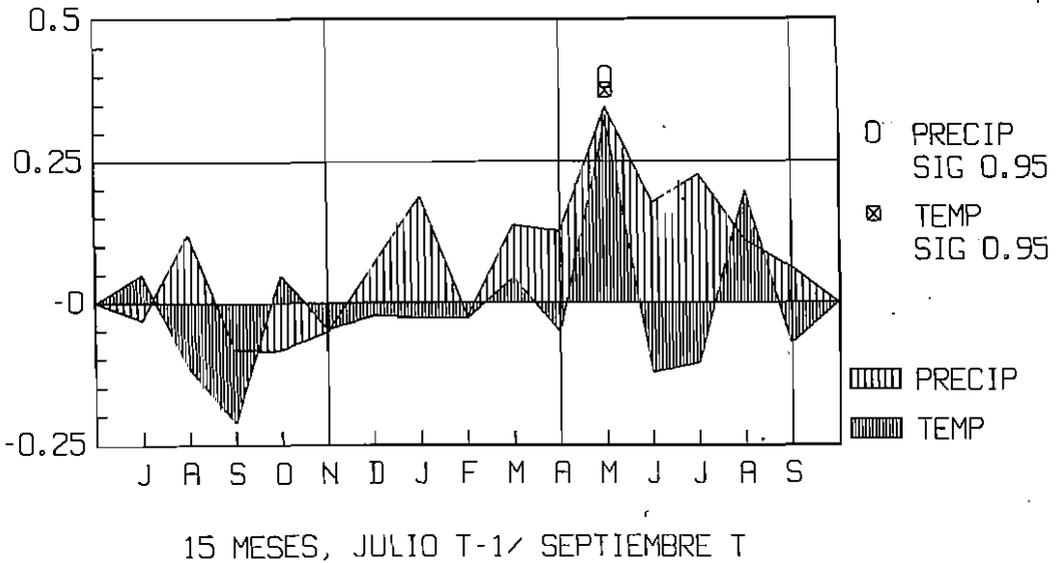


Fig. 7. Representación gráfica de la Función Respuesta de la cronología de LILLO frente a los datos mensuales del registro meteorológico de León en el subperiodo 1955-1995 (elaborada mediante el programa «Graph-in-the-box»).

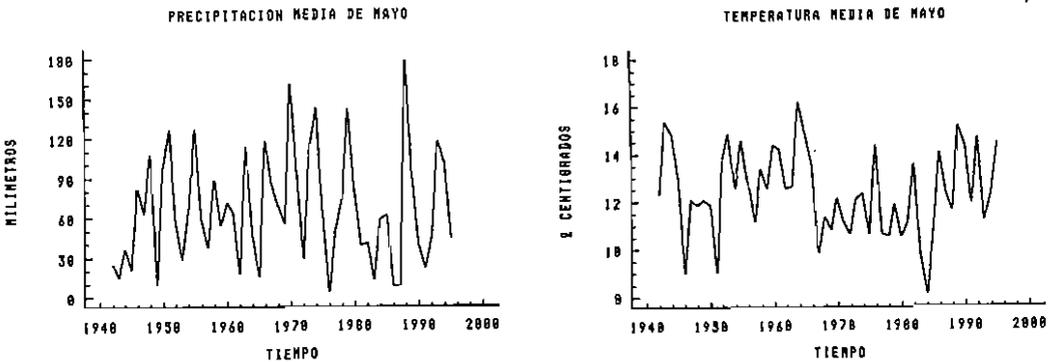


Fig. 8. Oscilaciones de las variables térmicas y pluviométricas medias del mes de mayo del registro meteorológico de León a lo largo del periodo 1941-1995, cuyas medias son respectivamente 12.3 °C y 66.2 mm (gráficas elaboradas mediante el programa «Statgraphics»).

Mayo más secos (1986 y 1987), aunque el mínimo se registra en 1976.

Aunque los datos dendrocronológicos aportados en este trabajo proceden de un muestreo prede-

terminado y deben interpretarse en este sentido, señalan en este siglo un descenso del crecimiento en la población estudiada que, al menos parcialmente, se podría quizás relacionar con los eventos climáticos acontecidos en el mes de Mayo. Es decir, la función respuesta entre la serie media de LILLO y el registro meteorológico de León parece ser lo suficientemente sensible a las oscilaciones reseñadas como para que se incremente la correlación entre el crecimiento y las variables climáticas en los periodos más desfavorables, que en este caso se corresponden con las últimas décadas.

En FERNÁNDEZ Y MANRIQUE (1997) se realizan diversas reconstrucciones dendroclimáticas de diferentes registros meteorológicos del territorio peninsular, entre los que está incluido León; posiblemente el empleo de las series procedentes de Lillo, que han mostrado una elevada sensibilidad al clima, incrementen la calidad y fiabilidad de esta reconstrucción y de otras en toda la mitad septentrional de España.

Finalmente, dos cuestiones se desprenden de forma casi inmediata de nuestro trabajo. En primer lugar, señalar que se aportan ciertas evidencias que apoyan y remarcan el urgente y necesario estudio en profundidad de los efectos de las últimas fluctuaciones climáticas sobre la vegetación española, tal como asimismo se ha señalado en otros trabajos procedentes de diversos campos de investigación (SECF, 1995). Y, en segundo lugar, sin querer repetir comentarios ya publicados (GÉNOVA *et al.*, 1993), nos resulta imprescindible volver a remarcar la imperiosa necesidad de una adecuada gestión que permita el mantenimiento de los ejemplares y rodales longevos que, además de su utilidad como archivo de datos dendrocronológicos, constituyen verdaderos monumentos de la vida vegetal y del patrimonio natural español.

CONCLUSIONES

1. Las series dendrocronológicas medidas, sincronizadas y datadas en el pinar de Lillo demuestran una gran longevidad en algunos rodales y ejemplares aislados de *Pinus sylvestris*, especialmente de los que habitan en las proximidades del límite forestal y en la vertiente noroeste, alcanzando algunos de ellos edades cercanas al límite

conocido para la especie en la Península Ibérica. Ello indica una colonización antigua del pinar en la zona, lo cual sumado a otros trabajos recientes sobre macrorrestos, maderas subfósiles y análisis polínicos, permiten asegurar su origen autóctono.

2. Se reconoce una notable variabilidad del crecimiento en las series individuales y en la serie media de LILLO (comparada con cronologías elaboradas en localidades relativamente próximas), destacando especialmente el declive observado a lo largo del presente siglo, lo cual no parece estar exclusivamente relacionado con la elevada longevidad de los individuos.

3. La relación entre las oscilaciones del crecimiento de la cronología local y las variables climáticas a lo largo del periodo 1941-1995 parece ser elevada, especialmente durante el periodo vegetativo, si nos atenemos a los resultados de las funciones respuesta frente a los datos meteorológicos de precipitación y temperatura media mensual de la estación de León. Esta relación presenta características intermedias entre las obtenidas en otras localidades españolas más meridionales u orientales y en el centro y norte de Europa.

Además, se observa un cierto incremento general de la correlación con dichas variables en las últimas décadas. En el mes más significativo para el crecimiento (Mayo), se localizan las oscilaciones más notables en los periodos 1967-1985, que resulta ser el más frío y 1981-1987 el más seco en conjunto de todo el registro de León.

4. Finalmente queremos indicar que nuestros datos confirman el enorme interés de esta población relicta de *Pinus sylvestris*, que une a sus valores ya citados, su utilidad como archivo y fuente de datos ambientales, especialmente climáticos, del pasado.

AGRADECIMIENTOS

Numerosas personas han participado en la gestación y desarrollo de este trabajo, pero quisiera mencionar especialmente a Raquel Fernández por su ayuda en el muestreo y a Carlos Morla y Ángel Fernández, entre otras razones, por la revisión del manuscrito original. El muestreo fue subvencionado parcialmente por el proyecto SC93-144 del Plan sectorial I+D del MAPA.

SUMMARY

This dendrochronological study in a relict population of *Pinus sylvestris* in the Cordillera Cantábrica (Leon, Spain), have found some of the longer-lived specimens of this taxon in Spain. The variability of the temporal series is analyzed and an average local series through 450 years is made. Growing tendencies are studied through four centuries and are compared with other near local data. The LILLO chronology is correlated with the average monthly temperatures and rainfalls taken from the meteorological records in the city of Leon, by means «Response Function», during the 1941-1995 period and 1941-1985 and 1951-1995 subperiods. Temperatures and rainfalls of May are the most significant values in the subperiods and are positive correlated with growing.

Key Words: Dendrochronology, dendroclimatology, *Pinus sylvestris*, Lillo, León.

BIBLIOGRAFIA

- ANIOL R. 1988: *CATRAS. Computer Aided Tree Ring Analysis System. User's Manual.*
- BRIFFA K., BARTHOLIN T., ECKSTEIN P., JONES P., KARLÉN W., SCHWEINGRUBER F. & ZETTERBERGG, P. 1990: «A 1400 year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia». *Nature*, 346: 434-439.
- COOK E. & KAIRIUKSTIS L. (eds.) 1990: *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- CREUS J. & FERNÁNDEZ A. 1997: «Climatic reconstructions of the last thousand years of the Spanish mainland on the basis of dendrochronological series». In: C. BAJOS & D. BARETTINO (eds.). *Paleoclimatological revision of climate evolution and environment in western Mediterranean regions:* 39-108.
- ECKSTEIN D. & PILCHER J. 1982: «Europe». In: M. HUGHES, B. GRAY, J. PILCHER & V. LAMARCHE (eds.). *Climate from tree rings:* 142-150.
- FERNÁNDEZ A. & MANRIQUE E. 1997: *Nueva metodología para la reconstrucción dendroclimática y aplicaciones más importantes.* Madrid.
- FRANCO F., GARCÍA M., GÉNOVA M., MALDONADO J., MORLA C. & SÁNCHEZ L. 1996: «El pinar de Lillo. Una interpretación fitogeográfica basada en criterios paleobotánicos». *Medio Ambiente en Castilla y León*, primer semestre: 4-9.
- FRITTS H. 1976: *Tree Rings and Climate.* Academic Press. London.
- FRITTS H. 1994: *PRECONK.DOC precon file for user manual, version 4.0.* Computer file.
- FRITTS H., VANGANOV E., SVIDERSKAYA I. & SHASHKIN A. 1991: «Climatic variation and tree-ring structure in conifers: empirical and mechanistic models of tree-ring width, number of cells, cell size, cell-wall thickness and wood density». *Climate Research*, 1: 97-116.
- GARCÍA M., FRANCO F., MALDONADO J., MORLA C. & SAINZ H. 1997: «New data concerning the evolution of the vegetation in Lillo pine wood (Leon, Spain)». *Journal of Biogeography*, 24: 929-934.
- GÉNOVA M., FERNÁNDEZ A. & CREUS J. 1993: «Diez series medias de anillos de crecimiento en los sistemas carpetano e ibérico». *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 2(2): 151-172.
- GÉNOVA M. 1994: *Dendroecología de Pinus nigra Arnold. subsp. salzmannii (Dunal) Franco y Pinus sylvestris L. en el Sistema Central y en la Serranía de Cuenca (España).* Tesis Doctoral (inéd.). Departamento de Biología. Universidad Autónoma de Madrid.
- GÉNOVA M., FERNÁNDEZ A. & CREUS J. 1997: «Análisis dendroclimático del crecimiento de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* en la Sierra de Guadarrama». *Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso*, II: 75-80.
- GRISSINO-MAYER H., HOLMES R. & FRITTS H. 1997: *THE INTERNATIONAL TREE RING DATA BANK. Program Library version 2.1.* User's Manual.

GUTIÉRREZ E. 1990: «Dendroecología de *Pinus sylvestris* L. en Cataluña». *Orsis* 5: 23-41.

MANRIQUE E. 1994: *Informatizaciones CLIMOAL*. Madrid.

SÁNCHEZ L., GÓMEZ F., MASEDO F., MORLA C. & NIDO DEL J. (en prensa): «Identificación de macrorestos holocenos en las cuencas altas de los ríos Porma, Curueño y Esla (León, España)». *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural*.

SCHWEINGRUBER F. 1988: «Climatic Information for the past Hundred years in width and density of conifer growths rings». In: H. WANNER Y U. SIEGENTHALER U. (eds.). *Long and Short Term Variability of Climate*: 35-55.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FORESTALES (ed.) 1995: *Seminario sobre deterioro de los montes y cambio climático*. Cuadernos de la SECF, 2.