

Comparación de tres series dendrocronológicas del valle de Conangles (Pirineo central)

Ricardo Génova

Departamento de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona.
Av. Diagonal 645. 08028 Barcelona.

Key words: Altitudinal response, dendrochronology, *Pinus uncinata*, tree-ring width.

Abstract. Comparison between three new dendrochronological series of the Valle de Conangles (Central Pyrenees). Dendrochronological results of three new cronologies elaborated on Mountain pine (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) in the Valle de Conangles (Central Pyrenees) are presented. All the statistics show that they are fairly in agreement with those observed in other series in ecologically similar sites or comparable geographical locations. The pattern of variation of the statistic analyzed is related to an altitudinal gradient, in correspondence with the ecological conditions (forest interior, timber limit, and upper tree limit). The analysis of variance has proven the importance of at least two cronologies for future dendroclimatological studies. All the series show a high degree of synchronization, although the curves cannot easily be matched visually. This agreement is also maintained when these series were compared to another series over a large distance. This seems to demonstrate the existence of a macroclimatic component held in common, which in Mediterranean areas is related to summer drouhts, even on subalpine sites.

Resumen Se presentan los resultados dendrocronológicos de tres nuevas series desarrolladas con pino negro (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) en el Valle de Conangles (Pirineo Central). Todos los parámetros estadísticos muestran una alta concordancia con los observados para otras series elaboradas en enclaves geográficos o ambientes ecológicos similares. Existe un claro patrón de variación de estos parámetros en un sentido altitudinal, relacionado con las diferentes condiciones ecológicas en que se presentan, (interior de bosque, límite superior del bosque y límite superior de la especie). Los análisis de la varianza han mostrado la importancia que presentan, al menos dos de las series, para el desarrollo de futuros estudios dendroclimatológicos. Todas las cronologías exhiben, aunque resulte difícil realizar una comparación visual, un alto grado de sincronización. Esta concordancia se mantiene además aunque la comparación se efectúe con otra serie elaborada en una localidad alejada. Esto parece demostrar la existencia de una componente macroclimática común, que en el área mediterránea se relaciona con las sequías estivales, aun en ambientes subalpinos.

Introducción

El análisis de los anillos de crecimiento de los árboles constituye una de las fuentes de información más importantes utilizadas en la reconstrucción de episodios ambientales del pasado. Uno de los campos de aplicación de ésta

disciplina científica se centra en el estudio del paleoclima, teniendo para ello como base la íntima relación existente entre el crecimiento de la planta y el clima.

En la actualidad existe un gran interés por parte de investigadores de todo el mundo, en conseguir una extensa red de cronologías para los cinco continentes (Fritts & Schatz 1975, Kutzbach & Guetter 1982, Schweingruber 1985). El interés de este esfuerzo radica en la posibilidad de establecer mapas paleoclimáticos, de manera similar a como se confeccionan los mapas meteorológicos diariamente. El problema para poder llegar a realizar estas reconstrucciones climáticas, estriba en disponer de un número suficiente de cronologías. Por esta razón y por la lógica importancia que tiene el conocer exactamente el funcionamiento climático, durante los últimos años, particularmente dentro de la última década, se han multiplicado los esfuerzos encaminados a desarrollar series dendrocronológicas a lo largo de todo el mundo (LaMarche 1982). Lo que se pretende con ello es definir áreas dendro-ecológicas de forma clara permitiendo acceder a la caracterización del clima del pasado sobre extensas zonas.

En el caso concreto de Europa existen en la actualidad dos redes dendrocronológicas extensas. La primera, que es la que cubre un área más amplia y tiene un número de años superior, se ha realizado sobre robles (Baillie 1982, Pilcher et al. 1984). La segunda ha sido elaborada con coníferas. La validez de la utilización de distintas especies de coníferas en dendrocronología está ampliamente justificada en numerosos trabajos previos (Cropper & Fritts 1982, Guiot et al. 1982, LaMarche 1982, Schweingruber et al. 1979, Serre 1978). Las razones de ello, están basadas principalmente en la clara definición que presentan en los límites de los anillos de crecimiento, en la ritmicidad anual de su formación, y en la alta sensibilidad climática que poseen. Esta red dendrocronológica está constituida por un total de 132 cronologías, elaboradas a partir de datos en 16 países europeos, en un área delimitada por España y Escocia hacia el oeste, Escandinavia al norte, Finlandia y Bulgaria al este y la cuenca mediterránea europea al sur (Schwiengruber 1985).

Sin embargo dentro de esta área existen puntos donde la definición de los límites son más inseguros. Esto ocurre principalmente en los países más meridionales, donde la componente macroclimática general puede verse muy desfigurada por las características mediterráneas que presentan. Así, la validez de la sincronización entre cronologías elaboradas en las zonas situadas más al norte se mantiene sobre distancias en torno a los 800 km, mientras que en las áreas situadas más al sur estas distancias rara vez alcanzan los 200 km, (Fletcher et al. 1984, Schweingruber 1985).

Con objeto de recoger información en aquellos lugares donde existe mayor dificultad de definición, durante los últimos años se han desarrollado distintos programas de recogida y tratamiento de datos dendrocronológicos. En este punto se manifiesta la necesidad de desarrollar el análisis dendro-

cronológico dentro del área mediterránea, donde por diversas razones, su estado actual se encuentra menos avanzado (Eckstein 1983, Munaut 1982, Richter & Eckstein 1986, Serre 1982).

El desarrollo de esta disciplina científica en nuestro país, ha sido relativamente escaso hasta hace poco tiempo (Creus & Puigdefábregas 1976), Génova 1986, Génova & Gracia 1984, Gracia & Génova 1982, Gutiérrez 1986, Richter & Trobajo 1986). En la actualidad, son varios los grupos de investigación, que analizan el potencial dendrocronológico de distintas especies en la península ibérica, existiendo varias decenas de cronologías ya elaboradas.

En este artículo se presentan los resultados dendrocronológicos correspondientes a tres series desarrolladas sobre pino negro (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) en una zona del Pirineo central, Valle de Conangles. La selección de esta especie responde a varias consideraciones establecidas inicialmente, (alta sensibilidad climática, máxima longevidad, clara definición en los límites de sus anillos y garantías de haber sufrido mínimas perturbaciones no naturales) y a los resultados obtenidos en trabajos anteriores (Gracia & Génova 1982).

Material y métodos

En cada una de las zonas seleccionadas, se recogieron las muestras sobre los individuos que se presentaban en condiciones más críticas de crecimiento (límite altitudinal máximo) y que presentaban edades más avanzadas. El material se recolectó mediante las técnicas forestales habituales, utilizándose la barrena de Pressler para la extracción de las muestras. Una síntesis completa de todas estas técnicas puede encontrarse en Baillie (1982), Fritts (1976) y Stokes & Smiley (1968).

De cada árbol seleccionado se recogieron dos testigos de madera o *cores* con orientaciones diferentes. Debido a las características que presentan los árboles que crecen en estos ambientes (formas «krummholz», nudosos, retorcidos, etc.), las muestras no pudieron recogerse con orientaciones norte-sur ni tampoco a la altura habitual de 1.30 m. El número de árboles por localidad se fijó en torno a los 10 individuos, justificándose esta decisión en los trabajos de Fritts & Schatz (1975), Serre (1982) y Schweingruber (1985).

Con el objeto de resaltar los límites entre los anillos de crecimiento, las muestras, una vez secas, se pulieron utilizando lijas de grano sucesivamente más fino. En casos especiales resultó necesario aplicar alguna tinción, con el fin de resaltar mejor la definición de cada anillo de crecimiento. En nuestro trabajo, utilizamos picrofucsina, aplicándola antes de realizar el pulido. Este tipo de tinción se ha utilizado con éxito sobre otras especies forestales (Ferrés 1985). La medición de los espesores de los anillos de crecimiento se realizó con los métodos ópticos habituales (Stokes & Smiley 1968).

La construcción de una cronología, ya sea regional o maestra, se realiza de forma secuencial, implicando en su elaboración una serie de procesos intermedios. El objetivo final de esta construcción, consiste en maximizar la respuesta macroclimática existente en la misma, minimizando al mismo tiempo la importancia de las variaciones no climáticas (Graybill 1982). Para poder llegar a establecer el promediado final de todas las series individuales, han de cumplirse primero una serie de propiedades; las series han de ser comparables y la datación establecida para cada anillo durante la lectura deber ser correcta.

El proceso conocido como estandarización, es el que permite la comparación de todas las series, de forma que cada árbol, o segmento del mismo, tenga el mismo peso en la elaboración de la serie final. Hay que eliminar por tanto la tendencia debida a la edad, por la cual los anillos que durante el periodo juvenil son más anchos se hacen gradualmente más estrechos conforme envejece. Por otra parte la estandarización, permite filtrar buena parte de las variaciones de carácter no climático propias y particulares de cada serie individual.

La estandarización consiste en ajustar nuestra serie de datos iniciales, a una función matemática dependiente del tiempo $f(t)$. Hemos de destacar aquí, sin embargo, la importancia de que la función elegida tenga una justificación biológica y no únicamente estadística. La función de ajuste elegida en nuestro caso, consistió en una exponencial negativa con la forma:

$$Y(t) = e^{-bt} + K$$

donde $Y(t)$ es el valor esperado para el espesor del anillo en un año determinado t , e es la base de los logaritmos naturales y a , b y K son coeficientes que varían de acuerdo con la pendiente de la función de ajuste. Esta función presenta la característica de describir de forma simple el patrón de crecimiento general en las coníferas (Phipps 1982). En los casos en que este ajuste resultó infructuoso, la estandarización se hizo utilizando una función lineal con pendiente negativa, e incluso en casos particulares con pendientes igual a cero. Este tratamiento se ha utilizado habitualmente en otros estudios comparables realizados sobre coníferas (Graybill 1982).

Una vez elegida la función de ajuste, el espesor de los anillos de crecimiento se transformó en índices $I(t)$, a través del cálculo del cociente entre los valores observados $M(t)$ y los esperados $Y(t)$, para cada año:

$$I(t) = M(t) / Y(t)$$

La conversión de los datos iniciales en índices permite, además de eliminar la tendencia debida a la edad, homogeneizar la varianza a lo largo de toda la serie, lográndose una serie de ventajas estadísticas importantes (Fritts 1976).

El segundo requisito previo, antes de elaborar la cronología media, consiste en establecer una datación unívoca para cada uno de los anillos de

crecimiento. Esto se logra a través del proceso conocido como interdatación o sincronización (Fritts 1976), consistente en comparar todas las series individuales detectando y eliminando las posibles anomalías que puedan presentar (por ejemplo anillos dobles o ausentes).

Aparte de la sincronización visual realizada sobre las representaciones de las series (Gemmill et al. 1982, Pilcher 1976, Stokes & Smiley 1968), en nuestro caso las series se interdataron utilizando dos análisis estadísticos diferentes: el test de concordancia o de signo (Baillie 1982, LaMarche et al. 1984, Schweingruber et al. 1978) y el test de la *t* (Baillie & Pilcher 1973, Richter & Trobajo 1986).

El test de concordancia, consiste en un test no paramétrico, donde las series de índices se transforman en series de signos (Baillie 1982) y se comparan utilizando la siguiente fórmula:

$$\%C = 50 + 50 a / \sqrt{N}$$

donde *a* es la posibilidad para un límite de confianza previamente seleccionado, *N* es el número de años en comparación y $50a / \sqrt{N}$ es una desviación estándar con respecto a la media (Schweingruber et al. 1978).

El test de la *t* por el contrario es un test paramétrico, basado en el cálculo del coeficiente de correlación, que permite determinar la mejor posición de sincronización entre dos series bajo comparación. En nuestro caso hemos utilizado el algoritmo desarrollado por Baillie & Pilcher (1973), donde la comprobación del nivel de significación del coeficiente de correlación (*r*), se realiza calculando el cociente entre el valor estimado de la *r* y el error estándar de la estima, e igualándolo a *t* con (*n*-2) grados de libertad (Parker 1981), según la fórmula siguiente:

$$t = r \sqrt{(n-2)} / \sqrt{(1-r^2)}$$

Una vez realizados los procesos de estandarización y sincronización, se procedió a elaborar la serie regional, promediando todas las series individuales. Sobre esta serie final se calcularon una serie de parámetros estadísticos, que permiten definir el potencial dendrocronológico de la misma (Fritts 1976). Algunos de ellos son clásicos dentro de la estadística (media, desviación estándar, error estándar o coeficiente de autocorrelación) mientras que otros se han diseñado específicamente para su utilización en estudios de este tipo (coeficiente de sensibilidad media). La interpretación de cada uno de ellos así como su formulación puede encontrarse en Creber & Challoner (1984), Fritts (1976) y Munaut (1978).

Sobre la serie final de los índices se realizó además un análisis de la varianza. Este análisis lo hemos realizado con ayuda del programa SUMAC, desarrollado por el Tree-Ring Laboratory. Información sobre el mismo puede hallarse en Graybill (1979, 1982). Hemos de resaltar, que los resultados obtenidos en este análisis no son absolutos, ya que al no cumplir una serie de condiciones estadísticas necesarias, únicamente puede tomarse como

un análisis de tipo orientativo, que posee las bases adecuadas para la evaluación de las series, así como para definir nuevas estrategias de muestreo (Graybill 1982). Tal y como lo hemos realizado, se consideran cuatro fuentes distintas de variación. La primera (Y), es la varianza debida al año, pudiéndose interpretar como componente macroclimática de la cronología. Es la componente que se pretende maximizar. La segunda fuente de variación (Y^*T/G), es la debida al factor árbol. Se corresponde con las diferencias que puedan existir en cuanto a factores de localización de cada individuo. La tercera fuente de variación está definida por las diferencias existentes entre las clases (Y^*C) que se hayan establecido. En nuestro caso se corresponde con la orientación, como criterio de selección de los dos testigos de madera para cada árbol. La última (Y^*C^*T/G), mide la variabilidad existente entre cada una de las series individuales (Fritts 1976). Dado a que la fuente de variación debida a la clase suele representar un tanto por ciento pequeño (nulo en muchas ocasiones) sobre el porcentaje total de variación, en nuestro caso las componentes de variación (Y^*C) y (Y^*C^*T/G) se presentan juntas. En una de las localidades analizadas resultó interesante realizar el análisis de la varianza tomando en consideración dos submuestras. En este caso además de las fuentes de variación anteriormente consideradas, aparecen las debidas a la diferencia entre ambos grupos (Y^*G) y la de interacción de grupos con las clases previamente definidas (Y^*C^*G).

Por último al objeto de valorar las similitudes existentes entre las tres series locales establecidas, estas se compararon utilizando los dos test de sincronización anteriormente comentados.

Resultados y discusión

En la Tabla 1, se presentan resumidas las características generales sobre los tres puntos de muestreo estudiados. Estos se seleccionaron siguiendo un transecto altitudinal desde la zona interior del bosque hasta el límite altitudinal superior donde aparece esta especie. Cada uno de los puntos elegidos presenta diferencias tanto físicas como ecológicas. En la zona más baja, identificada como PUVIEI, el bosque está constituido por una masa multiespecífica de pino negro, ha (*Fagus sylvatica* L.) y abeto (*Abies alba* Mill.). Los pinos no se encuentran aquí en su óptimo ecológico (Cantegrel 1984), denotándose efectos de competencia con el resto de árboles presentes. En la zona media (PUVIEM), los individuos se presentan en pequeños rodales con densidades bajas (entre 5 y 10 individuos). Estos bosquetes están constituidos uniespecíficamente por pino negro. En la zona superior (PUVIES), los árboles se encuentran aislados, acantonados en los lugares más adecuados para su desarrollo y expuestos a condiciones ambientales muy limitantes.

Durante el proceso de sincronización, realizado en la forma apuntada anteriormente, tuvieron que eliminarse al no poder asegurar su posición,

Tabla 1. Características generales de las tres cronologías elaboradas en el valle de Conangles (Vall d'Aran, Pirineo Central). Latitud: 0° 48' W. Longitud: 42° 42' N.

Característica	Cronología		
	PUVIEI	PUVIEM	PUVIES
Altitud (m)	1750-1830	1980-2052	2120-2220
Exposición	sur	sur	sur/suroeste
Pendiente (°)	14-24	20-45	28-43
Especie analizada	Pinus uncinata	Pinus uncinata	Pinus uncinata
Especies acompañantes	Fagus sylvatica Abies alba	—	—
Situación de la población	Interior de bosque	Límite sup. bosque	Límite sup. especie

dos muestras de la serie PUVIEI, una de PUVIEM y tres de PUVIES, con lo que las series establecidas quedaron definitivamente formadas por 10 muestras de 5 árboles diferentes en la primera, 12 muestras de 5 árboles en la segunda y 26 muestras de 14 árboles en la tercera. En la Tabla 2 se presentan los valores de sincronización entre cada una de las series dendrocronológicas de cada árbol (obtenidas como promedio de sus series radiales) y la cronología final (promedio de todos los testigos de madera analizados). Los valores tanto en el test de la *t*, como en el de concordancia son significativos al 99.9 % en todos los casos.

La caracterización de cada una de las cronologías establecidas (Figs. 1-2), realizada en función de los parámetros estadísticos calculados, presenta valores acordes a los encontrados en otras series dendrocronológicas elaboradas en enclaves geográficos o ambientales ecológicos similares (Braker & Schweingruber 1984, Cropper & Fritts 1981, Génova 1986a; Guiot et al. 1982, Schweingruber et al. 1978, Serre 1978). Según puede observarse en la Tabla 3, los valores para los espesores del anillo medio, varían entre 1.89 mm para PUVIEI y 0.85 mm en PUVIES. Este parámetro está directamente relacionado con las condiciones ambientales en las que se encuentran los árboles analizados. En nuestro caso es lógico por tanto, que los valores más bajos se presenten en la serie situada en el límite altitudinal superior, donde las condiciones ecológicas son más críticas para el crecimiento. El efecto que sobre este patrón pueda tener las distintas longitudes de las series queda minimizado si se tiene en cuenta, que este valor se obtiene como promedio de todos los espesores calculados sobre cada serie individual, sabiendo además que bajo condiciones como las estudiadas, los árboles

Tabla 2. Valores de sincronización entre todas las series dendrocronológicas establecidas para cada árbol (promedio de sus series radiales) y la cronología media de la localidad (promedio de todas las muestras analizadas). Se presenta también el coeficiente de correlación (r), y el número de anillos en comparación.

Series comparadas	% de concordancia	Valor de la «t»	r	Número anillos
PUVIEI-VI4	82.2	22.3	0.72	140
PUVIEI-VI5	76.6	10.0	0.58	120
PUVIEI-VI6	72.8	7.0	0.29	70
PUVIEI-VI7	83.6	11.9	0.55	120
PUVIEI-VI8	67.2	7.4	0.40	110
PUVIEM-VI16	76.6	11.6	0.60	120
PUVIEM-VI17	80.7	9.2	0.72	129
PUVIEM-VI20	78.6	14.8	0.81	100
PUVIEM-VI22	78.2	15.8	0.79	109
PUVIEM-VI23	71.0	5.5	0.62	110
PUVIES-VI33	67.8	7.7		114
PUVIES-VI34	68.1	9.2	0.41	249
PUVIES-VI36	72.7	12.4	0.59	342
PUVIES-VI37	67.0	7.3	0.42	250
PUVIES-VI41	75.2	12.8	0.53	290
PUVIES-VI42	83.0	9.2	0.44	90
PUVIES-VI43	74.4	7.8	0.52	220
PUVIES-VI44	73.7	22.5	0.69	430
PUVIES-VI45	75.0	13.7	0.50	241
PUVIES-VI47	76.0	16.2	0.55	251
PUVIES-VI48	77.5	14.3	0.61	151
PUVIES-VI49	74.5	13.6	0.46	271
PUVIES-VI53	72.4	15.8	0.45	251
PUVIES-VI55	77.0	18.8	0.44	261

dejan de exhibir la tendencia debida a la edad entre los 10 y 30 primeros años.

La desviación estándar presenta un esquema similar. Este parámetro es fuertemente dependiente de las variaciones a largo plazo que presente la serie (Munaut 1978). En este sentido se observa como existe un aumento en el valor de este parámetro conforme los individuos se encuentran en condiciones más críticas de crecimiento, en correspondencia con lo apuntado por otros autores (Fritts 1965, LaMarche 1974). Ello puede observarse más claramente si atendemos al mismo tiempo a los valores del coeficiente de autocorrelación. Este estadístico decrece a medida que los árboles se localizan en condiciones de interior de bosque. Ello nos refuerza en la idea de

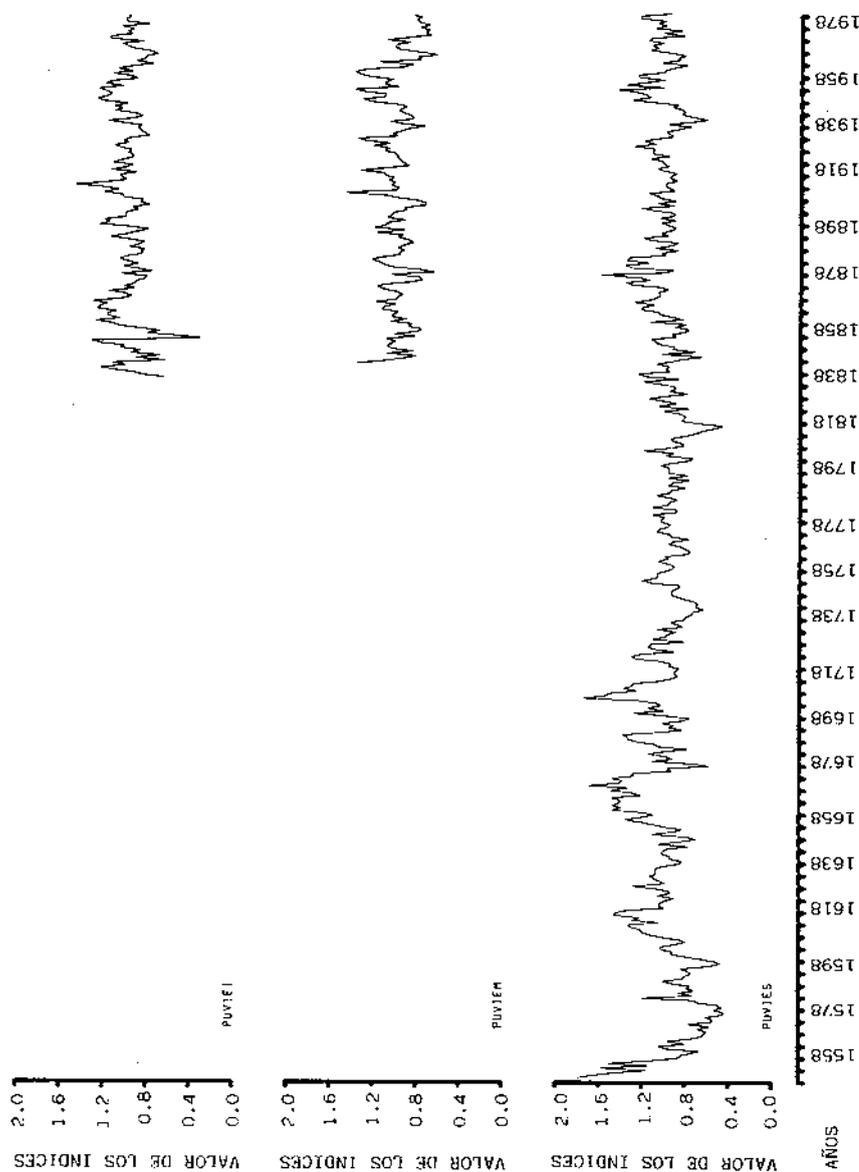


Figura 1. Representación del periodo total analizado en cada una de las tres cronologías establecidas con *Pinus uncinata* en el valle de conangiles (Pirineo Central). PUVIES, límite superior de la especie; PUVIEM, límite superior del bosque; PUVIEL, interior del bosque.

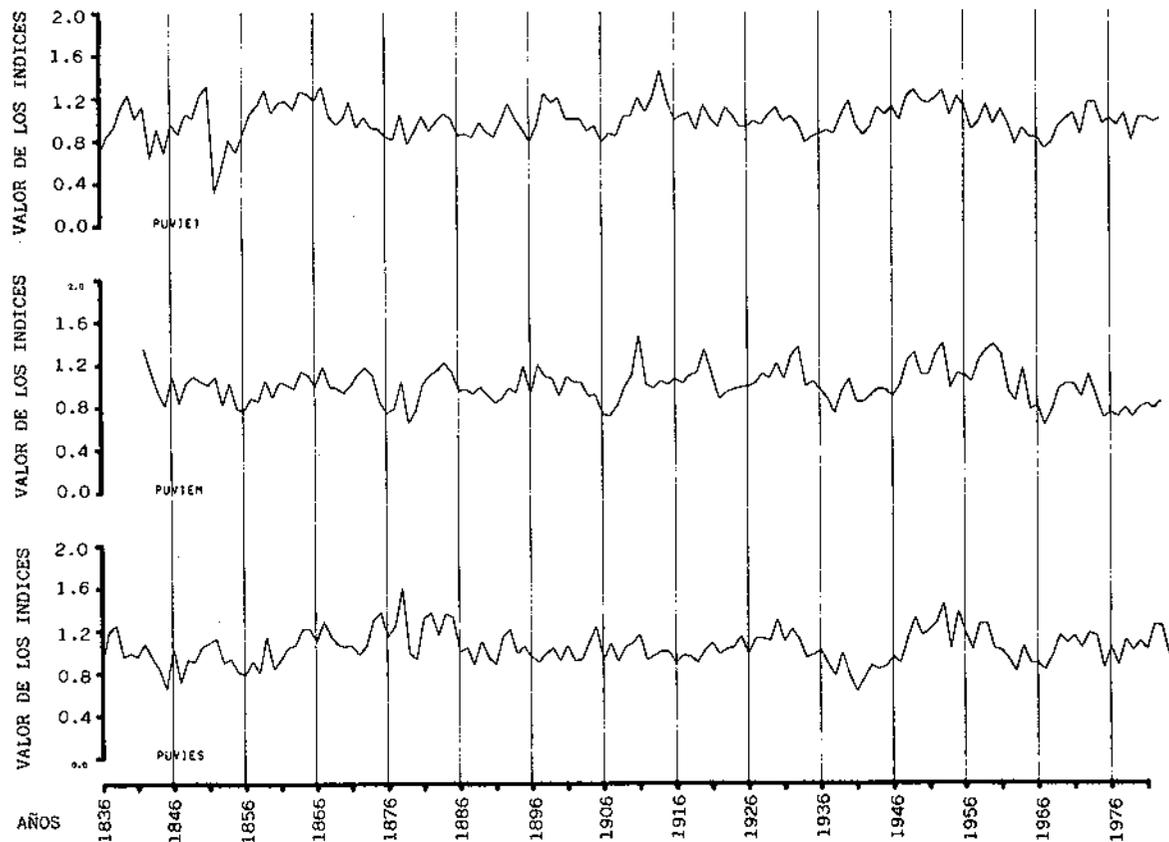


Figura 2. Comparación gráfica del periodo común (1836-1984) existente entre las tres cronologías establecidas. PUVIES, límite superior de la especie; PUVIEM, límite superior del bosque; PUVIEI, interior del bosque.

la gran inercia con respecto al crecimiento que presentan estos árboles denotándose el efecto de las condiciones ambientales de un año determinado sobre el crecimiento en varios años sucesivos, modulado todo ello a través del acúmulo de nutrientes, concentraciones hormonales y crecimiento de acículas, yemas, frutos o raíces (Eckstein & Aniol 1981). Esto queda además bien reflejado en el patrón dendroclimatológico que exhibe esta especie, donde del conjunto inicial de 5 variables (que explican el 96 % de la varianza total), 4 de ellas se corresponden con el año anterior al crecimiento (Génova 1986a).

El coeficiente de sensibilidad medio recoge fielmente las variaciones de alta frecuencia. En este sentido la información que proporciona puede considerarse como complementaria de la obtenida con la desviación estándar. Los valores aunque bajos, son comparables con los encontrados en otras cronologías que sobre coníferas se han establecido en Europa (Serre 1982).

El análisis de la varianza realizado sobre cada una de las tres cronologías analizadas presenta esquemas claramente diferentes (Tabla 3). Así, PUVIEI presenta el valor más bajo para la componente interpretada como variación

Tabla 3. Parámetros estadísticos básicos para las tres cronologías establecidas y resultados de los análisis de la varianza realizados sobre cada una de ellas. Espesor del anillo medio en mm, con su desviación estándar entre paréntesis.

	Cronología		
	PUVIEI	PUVIEM	PUVIES
Número de árboles	5	5	14
Número de series radiales	10	12	26
Número de años	148	142	437
Periodo	1836-1983	1842-1983	1548-1984
Espesor del anillo medio	1.892 (0.163)	1.391 (0.167)	0.848 (0.227)
Sensibilidad media	0.136	0.124	0.129
Autocorrelación de primer orden	0.450	0.541	0.733
<i>Análisis de la Varianza</i>			
Número de árboles	4	4	8
Número de series radiales	8	8	16
Periodo	1912-1974	1891-1976	1890-1976
<i>Fuentes de variación</i>			
Y (%)	5.8	22.4	11.2
Y * T/G (%)	33.1	27.1	21.9
Otras (%)	61.1	49.5	66.9

macroclimática (Y), y el más elevado con respecto a la componente de localización (Y^*T/G). Este esquema es comprensible dadas las condiciones de interior de bosque que presentan los individuos aquí analizados, donde los árboles responden de manera muy acusada a la dinámica de bosque, con procesos de autotala por competencia y fuertes interacciones entre los distintos individuos. Se observa cómo la importancia de la variación debida a la localización, decrece a medida que las condiciones se hacen más homogéneas, alcanzando los valores más bajos en PUVIES, donde los individuos sufren las condiciones de crecimiento típicas de enclaves de alta montaña.

El valor obtenido para la componente (Y), en la serie PUVIES es sin embargo inferior al que se podía esperar en principio. Ello puede deberse a la existencia de otras fuentes de variación no contempladas en este primer análisis. Esto se observó al realizar el análisis de la varianza sobre un subgrupo de 4 árboles para el periodo de 1835 a 1916. En este caso el valor de la componente (Y) representa un 31.9 % del total de variación, el de localización un 21.2 % y el resto de componentes un 47.0 %. Estas diferencias pueden estar motivadas o bien por un efecto de homogeneidad de este subgrupo (que no queda recogido en los valores de sincronización obtenidos) o bien por posibles diferencias en las condiciones ambientales existentes entre los dos periodos considerados.

Para poder valorar la importancia de una u otra causa por separado, se realizó un nuevo análisis de la varianza. Primero se repitió el análisis sobre cada uno de los dos grupos por separado, pero sobre el mismo periodo 1890-1976. Los resultados obtenidos nos muestran cómo existe un aumento significativo de la importancia de la componente (Y), y una disminución, también significativa, de la componente de localización (Y^*T/G). Existe por tanto una diferencia entre los dos grupos considerados. A continuación para valorar la importancia que pudiera tener el periodo de análisis considerado, se repitió el análisis sobre el total de árboles, pero sobre dos subperiodos 1890-1932 y 1933-1976, teniendo además en cuenta la diferencia existentes entre grupos, recogida en las componentes (Y^*G) y (Y^*C^*G). Los resultados muestran cómo la componente de variación (Y) es muy similar a la obtenida para el periodo considerado de forma global (Tabla 3), 11.5 % para 1890-1932 y 12.6 % para el de 1933-1976. No ocurre lo mismo para el factor de localización y para el de grupo. En el primer periodo considerado 1890-1932 la fuente de variación (Y^*T/G) representa un 17.3 % y la (Y^*G) un 0.0 %. Durante este periodo no existían diferencias entre los dos grupos considerados y los individuos se presentaban en condiciones de localización muy homogéneas. En el segundo periodo 1933-1976 la fuente de variación (Y^*G) representa un 4.3 % y la (Y^*T/G) un 23.5 % del total de variación.

Estos resultados parecen indicarnos claramente cómo durante los últimos treinta años, puede haber existido alguna componente de perturbación que haya afectado de forma desigual a los dos grupos de árboles analizados, a pesar de su proximidad. Estos efectos han sido anteriormente descritos

Tabla 4. Valores de sincronización obtenidos con el test de la t y el test de concordancia, entre todas las cronologías establecidas para el Pirineo y el Sistema Ibérico. Todos los resultados son significativos al nivel $P < 0.01$.

% de concordancia valor de t	PUVIEI	PUVIEM	PUVIES	PUCEB
PUVIEI	—	72.03	72.30	61.49
PUVIEM	9.46	—	73.24	63.64
PUVIES	4.78	5.13	—	61.37
PUCEB	3.00	6.88	7.03	—

como normales en ambientes de alta montaña, caracterizados por estar sometidos a cambios geomorfológicos relativamente rápidos. En este caso alteraciones muy puntuales tales como, desprendimientos de tierra o avalanchas de nieve pueden representar resultados muy desiguales según los árboles hayan resultado, o no afectados.

Los valores de sincronización obtenidos entre las tres cronologías elaboradas son altos (72.6 % en promedio), con significaciones superiores al 99 % en todos los casos (Tabla 4). Este resultado es ligeramente superior al valor de 62.2 % como promedio, que encuentran Braker y Schweingruber para 9 cronologías del Pirineo (Schweingruber 1985). La mayor similaridad podría atribuirse en este caso a la proximidad geográfica que presentan las series estudiadas. Un hecho que destaca es que los resultados del test de signo o concordancia son más homogéneos que los obtenidos para el test de la t . Ello se debe a que la primera prueba estadística, recoge principalmente las variaciones de alta frecuencia (anuales), muy semejantes entre cronologías próximas. Es más ilustrativo por tanto, observar el valor de la t , ya que además de indicar el año en el que se alcanza el valor más alto para la interdatación, integra todas las variaciones que puedan presentar las series. Como era lógico esperar la cronología establecida para el nivel altitudinal medio (PUVIEM), presenta los valores más elevados en la sincronización, motivado sin duda por su localización.

Aprovechando la existencia de otra cronología elaborada en un enclave geográfico diferente, intentamos comprobar si la concordancia existente se mantenía al aumentar la distancia. La nueva cronología incorporada al análisis (PUCEB), había sido elaborada también con *Pinus uncinata*, pero en la Sierra de la Cebollera, dentro del Sistema Ibérico, en la provincia de Soria (Génova 1986a, b). Observando los resultados obtenidos resaltan dos aspectos. En primer lugar los valores siguen siendo altamente significativos, lo que nos confirma la existencia de una componente de variación en común entre todas ellas. Dada la amplitud espacial con que se denota, esta componente de variación debe corresponderse lógicamente con algún factor macroclimático. En segundo lugar y atendiendo al esquema de variación que

presentan los valores de la t , se observa como la sincronización alcanza los valores más elevados cuando la comparación se establece con la cronología elaborada en el límite altitudinal superior (PUVIES), disminuyendo este valor para las otras cronologías en un sentido también altitudinal. Si nos fijamos en las condiciones de localización de los individuos muestreados en la Sierra de La Cebollera, podemos observar como estos se encuentran en condiciones muy similares a las reseñadas para PUVIES, individuos aislados, creciendo en el límite superior altitudinal (2200 m), sobre una formación superficial muy escasa y condiciones ambientales muy adversas (Génova 1986a). Estos resultados parecen confirmar cómo la concordancia entre series dendrocronológicas responde, aparte de la proximidad geográfica, a la similaridad de las condiciones ecológicas en que estas se presenten.

Conclusiones

Como resumen de los resultados obtenidos podemos destacar varios puntos. En primer lugar se demuestra la importancia que el pino negro tiene en este tipo de estudios. Ello se debe a varias de las características que presenta: gran longevidad, clara definición de los límites de los anillos, periodicidad anual en su formación y alta sensibilidad frente al clima.

En segundo lugar el potencial dendrocronológico de estas cronologías, caracterizado a través de los parámetros estadísticos calculados, así como con el análisis de la varianza realizado, parece estar relacionado con el gradiente altitudinal en que estas series se recogieron. Esto está en correspondencia, lógicamente, con las diferentes condiciones ecológicas en que se presentan (desde el límite altitudinal máximo en que se desarrolla esta especie, hasta la zona de interior del bosque). En la cronología elaborada en la zona de bosque, se denotan los efectos propios de la dinámica del mismo. Ello habrá de tenerse necesariamente en cuenta cuando se intente valorar la señal climática en series dendrocronológicas construidas bajo estas condiciones.

Por último la sincronización entre estas cronologías presenta valores muy elevados, con un 72.6 % como promedio. Esta alta sincronización se mantiene cuando se realiza la comparación con otra serie elaborada en un enclave geográfico diferente y alejado, presentando un valor en torno a 62.2 %. Este valor es acorde al encontrado por otros autores para cronologías elaboradas en regiones geográfico-climáticas similares a la estudiada por nosotros. Este hecho nos refuerza en la idea de la existencia de una componente macroclimática común, que en el área mediterránea, incluso en ambientes subalpinos, se ha interpretado como sequía estival.

Agradecimientos

Agradezco a A. Dalmau, J. Piñol y M. Abril, la ayuda prestada en el trabajo de campo, así como las sugerencias y revisión del manuscrito original por parte de X. Millet y del Dr. C. Gracia.

Bibliografía

- Baillie, M. G. L. 1982. Tree-ring Dating and Archaeology. Croom Helm. London.
- Baillie, M. G. L. & Pilcher, J. R. 1973. A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-ring Bull.* 33: 7-14.
- Braker, O. U & Schweingruber, F. H. 1984. Standorts-Chronologien. Teil 1: Iberische Halbinsel. Publikation der Eidg. Forstl. Vers. Aust. Birmensdorf, 73.
- Cantegrei, R. 1984. Contribution a l'etude de la variabilité biologique et biochimique du pin a crochets (*Pinus uncinata* Ram.) dans Les Pyrenees. *Ann Sxi. For.* 41: 273-302.
- Creber, G. T. & Chaloner, W. G. 1984. Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. *Bot. Rev.* 50: 357-448.
- Creus, J. & Puigfàbregas, J. 1976. Climatología histórica y dendrocronología de *Pinus uncinata* Ram. Cuadernos de Investigación, 2: 17-30.
- Cropper, J. P. & Fritts, H. C. 1981. Tree-ring width chronologies from the North American Arctic. *Arctic and Alpine Research*, 13: 245-260.
- Cropper, J. P. & Fritts, H. C. 1982. Density of tree-ring grids in western North America. *Tree-Ring Bull.* 42: 3-10.
- Eckstein, D. 1983. Biological basis of Dendrochronology. In: D. Eckstein et al. (eds.) Workshop Symposium on Dendrochronology and Archaeology in Europe. pp. 11-20.
- Eckstein, D. & Aniol, R. W. 1981. Dendroclimatological reconstruction of the summer temperatures for an alpine region. *Mh. Forstl. Bundesvers. Aust. Wien.* 142: 391-398.
- Eckstein, D., Bronges, J. A. & Bauch, J. 1975. Tree-ring research in the Netherlands. *Tree-Ring Bull.* 35: 1-13.
- Ferrés, L. 1985. Creixement radial i producció primària neta aèria a l'alzinar de La Castanya (Montseny, Barcelona). *Orsis* 1: 71-79.
- Flechter, J. 1984. Scandinavian pine chronologies. *Nature* 313: 3-9.
- Fritts, H. C. 1965. Growth rings of trees and climate. In: R. Shaw (ed.) *Ground Level Climatology*. American Association for the Advancement of Science. Publication n. 86. pp. 45-65.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree-rings and climate*. Academic Press. London.
- Fritts, H. C. & SHATZ, D. J. 1975. Selecting and characterizing tree-ring chronologies for dendroclimatic analysis. *Tree-Ring Bull.* 35: 31-40.
- Gemmill, B., McBride, J. R. & Laven, R. D. 1982. Development of tree-ring chronologies in an ozone air pollution-stressed forest in southern California. *Tree-Ring Bull.* 42: 23-32.
- Génova, R. 1986a. Dendrocronología. *Investigación y Ciencia* 113: 38-40.
- Génova, R. 1986b. Dendrocronology of mountain pine (*Pinus uncinata* Ram) in the Central plain of Spain. *Tree-Ring Bull.* 46: 3-12.
- Génova, R. & Gracia, C. 1984. Análisis dendrocronológico del castaño (*Castanea sativa* Mill.) en el Macizo del Montseny. *Mediterránea* 7: 67-82.
- Gracia, C. & Génova, R. 1982. Análisis dendrocronológico y de producción de *Pinus uncinata*, Ram. Informe de trabajo de la Universidad de Barcelona.
- Graybill, D. A. 1979. Revised computer programs for tree-ring research. *Tree-Ring Bull.* 39: 77-82.
- Graybill, D. A. 1982. Chronology development and analysis. In: M. K. Hughes, P.

- M. Kelly, J. R. Pilcher & V. C. LaMarche Jr. (eds.) *Climate from Tree-Rings*. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 21-28.
- Guiot, J., Berger, A. L., Munaut, A. V. & Till, C. L. 1982. Some new mathematical procedures in dendroclimatology, with examples from Switzerland and Morocco. *Tree-Ring Bull.* 42: 33-48.
- Gutiérrez, E. 1986. Estudio dendroclimatológico de *Pinus uncinata* (Pirineo Catalán). *Revista Informática Universitaria*, 4: 33-50.
- Kutzbach, J. E. Guetter, P. J. 1982. The design of palaeoenvironmental data networks for estimating large-scale patterns of climate. In: M. K. Hughes, P. M. Kelly, J. R. Pilcher & V. C. LaMarche Jr. (eds.) *Climate from Tree-Rings*. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 67-77.
- Lamarche, V. C. Jr. 1974. Paleoclimatic inferences from long tree-ring records. *Science.*, 183: 1043:1048.
- Lamarche, V. C. Jr., Graybill, D. A., Fritts, H. C. & Rose, M. R. 1984. Increasing atmospheric carbon dioxide: Tree-ring evidence for growth enhancement in natural vegetation. *Science* 225: 1019-1021.
- Munaut, A. V. 1978. La dendrochronologie, une synthese de ses methodes et applications. *Lejeunia*. 91: 1-47.
- Munaut, A. V. 1982. The Mediterranean area. In: M. K. Hughes, P. M. Kelly, J. R. Pilcher & V. C. LaMarche Jr. (eds.) *Climate from Tree-Rings*. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 151-153.
- Parker, R.E. 1981. *Estadística elemental para biólogos*. Omega. Barcelona.
- Phipps, R. L. 1982. Comments and interpretation of climatic information from tree eastern North America. *Tree-Ring Bull.* 42: 11-22.
- Pilcher, J. R. 1976. A statistical oak chronology from the North of Ireland. *Tree-Ring Bull.* 36: 21-28.
- Pilcher, J. R., Baillie, M. G. L., Schmidt, B. & Becker, B. 1984. A 7272 year tree-ring chronology for western Europe. *Nature.*, 312: 150-152.
- Richter, K. & Trobajo, E. 1986. El banco de datos dendrocronológico para la Península Ibérica. *Koine* 1: 66-77
- Richter, K. & Eckstein, D. 1986. Estudio dendrocronológico en España. *Dendrochronologia* 4: 59-74.
- Schweingruber, F. H. 1985. Dendro-ecological zones in the coniferous forest of Europe. *Dendrochronologia* 3: 67-75.
- Schweingruber, F.H., Fritts, C., Bräker, O. U., Drew, L. G. & Schär, E. 1978. The X-ray technique as applied to dendroclimatology. *Tree-Ring Bull.* 38: 61-91.
- Schweingruber, F. H., Bräker, O. U. & Schär, E. 1979. Dendroclimatic studies on conifers from Central Europe and Great Britain. *Boreas.*, 8: 427-452.
- Schweingruber, F. H., Bräker, O. U. & Schär, E. 1979. Dendroclimatic studies on conifers from Central Europe and Great Britain. *Boreas* 8: 427-452.
- Serre, F. 1978. The dendroclimatological value of European larch (*Larix decidua* Mill.) in the French Maritime Alps. *Tree-ring Bull.* 38: 25-34.
- Serre, F. 1982. Comments to the Mediterranean area. In: M. K. Hughes, P. M. Kelly, J. R. Pilcher & V. C. LaMarche Jr. (eds.) *Climate from Tree-Rings*. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 153-155.
- Stokes, M. A. & Smiley, T. L. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press. Chicago.