

## INFORME

# Estudio dendrocronológico en el Parque Natural Señorío de Bertiz, Navarra

Proyecto de Investigación “Cambio climático y crecimiento de especies forestales caducifolias en el noroeste de la Península Ibérica: análisis de anillos de crecimiento y vasos xilemáticos” (RTA2006-00117-00-00) financiado por INIA – Ministerio de Educación y Ciencia

Investigador responsable: Vicente Rozas Ortiz <sup>1,\*</sup>  
Investigadores participantes: Adrián González García <sup>1</sup>  
Sonia Lamas Pose <sup>1</sup>  
Ignacio García González <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ecología, Centro de Investigación e Información Ambiental, Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible, Xunta de Galicia

\* Tel.: 986 805065; Fax: 986 856420; E-mail: [vrozas.cifal@siam-cma.org](mailto:vrozas.cifal@siam-cma.org)

<sup>2</sup> Departamento de Botánica, Escola Politécnica Superior, Campus de Lugo, Universidade de Santiago de Compostela

15 de diciembre de 2008

## Resumen

En este informe se detalla la información derivada de los muestreos dendrocronológicos realizados en agosto de 2008 sobre una población de haya (*Fagus sylvatica*) y roble (*Quercus robur*, *Q. petraea* y sus híbridos) en un rodal de bosque próximo al sitio del Alto de la Pipa, Parque Natural Señorío de Bertiz, Navarra. Los trabajos han sido realizados en el marco del Proyecto de Investigación "Cambio climático y crecimiento de especies forestales caducifolias en el noroeste de la Península Ibérica: análisis de anillos de crecimiento y vasos xilemáticos" RTA2006-00117-00-00, financiado por INIA – Ministerio de Educación y Ciencia, desarrollado en el Centro de Investigación e Información Ambiental de Galicia en colaboración con la Universidad de Santiago de Compostela.

El análisis de los testigos de madera obtenidos en los árboles prospectados revela edades máximas de 169 años en las hayas y 237 años en los robles. Los patrones de crecimiento mostraron un relevante episodio de apertura del dosel en el año 1898, en que todas las hayas mostraron una notable liberación del crecimiento, mientras que los robles maduros presentaron una disminución probablemente debida al desmoche de su copa. Desde el año 1940 hasta la actualidad el cierre del dosel forestal produjo una elevada competencia entre árboles vecinos, causando tasas de crecimiento muy reducidas en todas las especies. La variación de alta frecuencia del crecimiento de ambos géneros, representada por las cronologías residuales de anchura de los anillos, mostró una notable señal climática en relación a los registros climáticos obtenidos de las estaciones meteorológicas próximas en Doneztebe y Artikutza. *F. sylvatica* fue la especie más sensible al clima, con un 53% de su crecimiento explicado por la variación climática, especialmente por la precipitación en enero (relación negativa), junio, julio y agosto (relación positiva). Sin embargo, en crecimiento de *Quercus* spp. estuvo favorecido por la temperatura de abril, con un 41,5% de su variación relacionada con el clima.

En síntesis, en rodal estudiado en Bertiz muestra características propias de un bosque maduro, con todos los árboles dominantes con una edad superior a 100 años y series de crecimiento radial sensibles al clima diferencialmente entre especies. Estas características hacen de las series dendrocronológicas obtenidas un material idóneo tanto para la reconstrucción dendroecológica de la historia del dosel, como para su utilización comparativa dentro de una red de cronologías de amplio ámbito geográfico.

## 1)- Antecedentes

En los últimos años se ha reconocido la gran importancia que tienen los gradientes ambientales y las condiciones climáticas locales y regionales sobre la productividad de los ecosistemas forestales y el crecimiento de las especies arbóreas. Por ello se recomienda la realización de redes de cronologías del crecimiento que abarquen un amplio rango de condiciones ambientales dentro de un área geográfica suficientemente extensa. Este tipo de redes permiten poner de manifiesto la existencia de una variabilidad local en la respuesta climática y evaluar su importancia. Las formaciones dominadas por robles caducifolios (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pyrenaica*) y por el haya (*Fagus sylvatica*) constituyen los bosques climáticos que ocuparían la mayor parte del cuadrante noroccidental de la Península Ibérica. La influencia de la variabilidad climática en Europa sobre el crecimiento y la anatomía vascular de estas especies viene siendo estudiada desde hace décadas. En los últimos años se han realizado estudios basados en redes de cronologías del crecimiento de especies de *Quercus* y *Fagus* en algunas regiones de Europa. Estos estudios han mostrado la importancia de estas especies como registros de la variabilidad climática pasada, además de revelar los efectos del clima regional y las condiciones locales sobre la productividad de los bosques caducifolios. En España, el estudio de la relación crecimiento-clima en los géneros *Quercus* y *Fagus* se ha realizado en localidades puntuales o sobre áreas geográficas restringidas del norte peninsular, poniendo de manifiesto la existencia de una elevada variabilidad local de la respuesta climática, la cual no ha podido ser evaluada hasta el momento en toda su extensión.

En el proyecto "Cambio climático y crecimiento de especies forestales caducifolias en el noroeste de la Península Ibérica: análisis de anillos de crecimiento y vasos xilemáticos" se pretende realizar una completa red de cronologías de los géneros *Quercus* y *Fagus* en el cuadrante noroccidental ibérico (Galicia, norte de Castilla y León, Asturias, Cantabria, Álava, Navarra) con el objeto de conocer los efectos de la variabilidad climática y de las condiciones ambientales locales sobre el crecimiento radial y la formación de los elementos vasculares en las frondosas caducifolias. Se determinará la importancia de patrones geográficos diferenciales en las tendencias del crecimiento, indicativos de condiciones climáticas y ambientales locales o incluso de tendencias climáticas a escala

global. Se analizará la consistencia espacial de los modelos de relación crecimiento-clima obtenidos, prestando especial atención a la estimación de los efectos del cambio climático sobre la productividad de los ecosistemas forestales del noroeste de la Península Ibérica.

## 2)- Estado actual de desarrollo del proyecto

Hasta el momento, en el contexto del citado proyecto de investigación se ha realizado el muestreo, el procesado completo de las muestras y el cálculo de las correspondientes cronologías de anillos anuales de crecimiento en 20 poblaciones de la especie *Quercus robur* de Galicia. La altitud de las poblaciones muestreadas en esta región varía entre los 20 y los 1200 m sobre el nivel del mar, abarcando el rango completo de distribución de la especie. El número de árboles muestreado por localidad varía entre 10 y 32, con un total de 396 árboles muestreados. El número de testigos procesados por localidad varía entre 16 y 70, con un total de 833 testigos procesados. El muestreo de testigos en poblaciones de especies caducifolias, procesado de las muestras y cálculo de cronologías medias del crecimiento está avanzado también en otras comunidades autónomas. En Cantabria y Navarra se han muestreado varias localidades, entre las que se encuentra el Parque Natural de Bertiz. El número de árboles muestreado por localidad varió entre 20 y 25, con un total de 413 árboles muestreados en ambas regiones. El número de testigos procesados por localidad osciló entre 40 y 53, con un total de 862 testigos procesados en ambas regiones. Resta por acometer este trabajo en Asturias, Álava y norte de Castilla y León, aunque se dispone de los correspondientes permisos para la realización de los muestreos durante los próximos meses.

Considerando un total de 36 cronologías de roble a realizar derivadas de este proyecto, y teniendo en cuenta que 28 están ya finalizadas, el 77,7% del trabajo técnico relativo a *Quercus* se encuentra ya finalizado. Considerando un número final de 24 cronologías de haya y que ya se ha realizado el muestreo o se dispone de las cronologías completas de 15 localidades, podemos considerar que el 62,5% del trabajo técnico relativo a dendrocronología de *Fagus* se encuentra realizado. Se avanzará durante los próximos meses en el muestreo y procesado de nuevas localidades de haya y roble. En el área litoral del occidente de Asturias, en Guipúzcoa y en Vizcaya no ha sido posible localizar

poblaciones de árboles maduros y con el suficiente número de ejemplares que permitan realizar muestreos acordes con los objetivos del presente proyecto, por lo que la eventual prospección de estas áreas se reserva para el futuro. El análisis de la correlación entre las cronologías obtenidas y los patrones geográficos de afinidad del crecimiento, así como las respuestas climáticas en las diferentes cronologías, se realizarán cuando se haya concluido totalmente el trabajo técnico en el resto de localidades que quedan por prospectar. El presente proyecto de investigación finalizará en noviembre de 2009, fecha en que se tiene que haber concluido la totalidad del trabajo técnico de campo y laboratorio, y se espera tener avanzado el análisis de datos y un mínimo de publicaciones sobre áreas y localidades concretas. La redacción de publicaciones continuará en períodos posteriores a la finalización del proyecto, dado el gran volumen de datos obtenido.

### **3)- Justificación de este informe**

En el presente informe se detalla la información derivada de los muestreos dendrocronológicos realizados en agosto de 2008 sobre hayas (*Fagus sylvatica*) y robles (*Quercus robur*, *Q. petraea* y sus híbridos) en un rodal de bosque próximo al Alto de la Pipa, Parque Natural Señorío de Bertiz, Navarra. La autorización para la realización de este muestreo fue concedida el 16 de abril de 2008 por el Director General de Medio Ambiente y Agua, Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra. En la citada autorización se resuelve que “tras la toma de datos se proporcionará a este Departamento los datos obtenidos” y “una vez finalizado el proyecto de investigación proporcionará a este Departamento las conclusiones de su trabajo”, lo que procedemos a realizar mediante el presente informe. Junto con el informe se aportan ficheros de datos relativos a las características de los árboles muestreados y las series de crecimiento individuales y cronologías de índices anuales de crecimiento obtenidas. Una vez finalizado el proyecto se proporcionarán adicionalmente las conclusiones del proyecto relativas a la relación entre los datos obtenidos en Bertiz y el resto de localidades estudiadas en el noroeste ibérico, así como una copia de las publicaciones científicas derivadas del proyecto en que se incluyan resultados relativos al Parque Natural Señorío de Bertiz.



Figura 1. Aspecto parcial del rodal de bosque maduro muestreado en Bertiz.

## 4)- Métodos

### *Muestreo*

El muestreo fue realizado en un rodal de bosque maduro (Figura 1) situado próximo a la pista principal de Bertiz, sobre la pendiente que transcurre entre el Monte Ezteikomalda y el Alto de la Pipa, a una altitud media de 300 m y orientación Sur-Suroeste, con coordenadas geográficas: latitud 43° 10,29' Norte, longitud 01° 37,14' Oeste. El rodal está dominado por las especies *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Q. petraea* e individuos híbridos con características morfológicas intermedias entre ambas especies de roble. Como especies típicas del sotobosque se encuentran *Ilex aquifolium*, *Salix atrocinerea*, *Crataegus monogyna* y ocasionalmente *Sorbus torminalis*. La regeneración de *Fagus* en el rodal es

localmente muy abundante, observándose densos parches de individuos juveniles, mientras que la regeneración de *Quercus* es muy escasa.

Fueron seleccionados 21 individuos de *Fagus* y 20 individuos de *Quercus* con posición dominante o subdominante en el dosel, en los cuales se midió el diámetro del tronco a 1,3 m sobre el suelo, tomándose dos testigos de madera de 5 mm de diámetro por individuo mediante barrenas manuales Haglöf de 40 cm de longitud. Los testigos fueron marcados con una referencia individual y de réplica (A o B) y protegidos para su transporte al laboratorio. Los agujeros en el tronco resultantes de la extracción fueron sellados inmediatamente mediante un taco de madera. El muestreo fue realizado bajo la supervisión de un miembro de la guardería del Parque.

### *Procesado de las muestras y medición*

Los testigos fueron extendidos para su secado al aire durante un período de al menos dos días. Una vez secos fueron encolados en soportes de madera y pulidos con lijas de grano sucesivamente más fino hasta conseguir una óptima resolución de los elementos celulares del xilema en sección transversal. Los límites entre anillos de crecimiento fueron diferenciados visualmente acorde con las características anatómicas propias de cada género (leño con porosidad difusa en *Fagus* y con poros en anillos en *Quercus*). La diferenciación de los anillos en todas las muestras de la localidad permitió realizar una datación anual, asignándose anillo por anillo su correspondencia con el año de formación. Una vez datadas las muestras bajo lupa binocular, se procedió a la medición de las anchuras totales de los anillos de cada testigo, con una precisión de 0,001 mm, mediante una plataforma Velmex de medición de incrementos conectada a un ordenador. Los posibles errores en la datación y medición se localizaron mediante comparación de cada serie con una cronología maestra mediante el programa informático COFECHA, procediéndose a su rectificación.

### *Estandarización y cálculo de las cronologías*

Los patrones medios del crecimiento en cada individuo se obtuvieron promediando las series brutas de anchuras de anillos obtenidas de cada árbol, generalmente derivadas de dos

testigos por árbol. Los patrones medios del crecimiento para las poblaciones de *Fagus* y de *Quercus* se calcularon mediante promediado de las series individuales de crecimiento simplemente calculando la media aritmética de los índices anuales obtenidos. Este proceso de estandarización preserva toda la información contenida de las series de crecimiento, incluidas las tendencias del crecimiento, los períodos de desviación de las tasas de crecimiento respecto a la media y las señales de perturbación debidas a brucas disminuciones de la densidad del dosel forestal.

Para el cálculo de los efectos del clima sobre la variación de alta frecuencia en el crecimiento, las series individuales de anchuras de anillos fueron estandarizadas mediante un doble proceso: se usaron funciones recta y exponencial negativa para eliminar las tendencias debidas al aumento de la edad, y posteriormente los residuos obtenidos fueron suavizados mediante una función spline de 128 años, la cual elimina tendencias no relacionadas con la variación climática. Se aplicó modelado autorregresivo a los residuos obtenidos de este doble proceso, obteniéndose índices anuales independientes de crecimiento. Las cronologías del crecimiento para cada especie fueron obtenidas como una media ponderada de los índices individuales.

### *Análisis estadísticos*

Para el análisis de las liberaciones bruscas del crecimiento en las series brutas individuales de anchuras de anillos, se realizó serie por serie el análisis de los cambios bruscos del crecimiento, definiéndose las liberaciones como aumentos superiores al 100% de la tasa media del crecimiento cuando comparamos segmentos consecutivos de 10 años de longitud. Las cronologías individuales de cambio del crecimiento se promediaron para obtener una cronología para cada especie, la cual reflejó los patrones temporales de aumentos drásticos del crecimiento promedio, para cada población, debido a la apertura de huecos en el dosel.

Para el cálculo de la respuesta climática individual, a partir de las cronologías de alta frecuencia se calcularon las correlaciones con los registros mensuales de temperatura y precipitación obtenidos de las estaciones meteorológicas de Santesteban/Donzetebe y Artikutza, distantes unos pocos kilómetros al oeste del área de estudio, los cuales abarcan de forma continua el período 1962-2007.



## 5)- Resultados e interpretación

### *Características de los árboles y testigos*

Las características de los árboles muestreados se detallan en las Tablas 1 y 2. Las columnas de estas tablas indican, en orden consecutivo: (1) referencia individual (BR = Bertiz, F = *Fagus*, Q = *Quercus*), (2) edad estimada del árbol en años, (3) diámetro del tronco en centímetros, (4) referencia del testigo para cada individuo (A, B, C o D), (5) años inicial y (6) final datados en cada testigo, (7) observaciones referentes al árbol o testigo, (8) serie incluida (SI) o no incluida (NO) en la cronología maestra.

Los diámetros medios fueron de  $46,5 \pm 4,6$  cm (media  $\pm$  desviación típica) en *F. sylvatica* y de  $66,8 \pm 11,7$  cm en *Quercus*. Las edades estimadas a partir de los testigos de madera fueron de  $137 \pm 15$  años en *F. sylvatica* y  $166 \pm 42$  años en *Quercus*. Todos los individuos muestreados superaron los 100 años de edad. La edad máxima estimada en *F. sylvatica* fue de 169 años; la baja desviación estándar y diferencia entre las edades estimadas máxima y mínima sugieren que la población muestreada de esta especie es básicamente coetánea, habiéndose establecido las hayas maduras de este rodal en un período de unos 60 años. La edad máxima estimada en *Quercus* fue de 237 años y la elevada desviación estándar y diferencia entre las edades estimadas máxima y mínima sugieren una población formada por al menos dos episodios de regeneración. La mayoría de los *Quercus* muestreados tienen un porte alto, con un fuste largo desprovisto de ramas hasta mucha altura y edades de entre 114 y 193 años, presentando caracteres de *Q. petraea* o híbridos de esta especie con *Q. robur*. Sin embargo, cinco de los robles muestreados presentan características de *Q. robur* o híbridos tienen edades de entre 204 y 237 años, con un porte más bajo, una copa ancha y ramas gruesas desde poca altura (Figura 2).

Las evidencias reveladas por los anillos de crecimiento y el aspecto de los árboles sugieren que los robles más viejos se establecieron y crecieron en su etapa juvenil unos 200 años atrás en un ambiente luminoso con poca espesura del dosel. La densidad del rodal aumentó a lo largo de todo el siglo XIX, en que se establecieron la mayoría de robles y hayas muestreados en este estudio. La especie dominante en el siglo XVIII era *Q. robur*, mientras que en la actualidad solo quedan escasos individuos viejos de esta especie, estando dominado actualmente el rodal por *F. sylvatica*, *Q. petraea* y robles híbridos.

Tabla 1. Características de los árboles y testigos de *Fagus sylvatica*.

Individuo	Edad (años)	Diametro (cm)	Testigo	Inicio	Final	Observaciones	Maestra
BRF 01	139	49.5	A	1874	2008		NO
			B	1902	2008		NO
BRF 02	147	53.9	A	1877	2008		SI
			B	1883	2008		SI
BRF 03	143	54.1	A	1884	2008		SI
			B	1880	2008		SI
BRF 04	131	48	A	1886	2008	Dos troncos, inclinada	SI
			B	1898	2008		SI
BRF 05	140	40.1	A	1878	2008		SI
			B	1874	2008		SI
BRF 06	169	41.2	A	1866	2008		SI
			B	1857	2008		SI
BRF 07	150	49.3	A	1879	2008		SI
			B	1873	2008		SI
BRF 08	145	43.4	A	1872	2008		SI
			B	1900	2008		SI
BRF 09	129	39.1	A	1877	1998		SI
			B	1899	1998		SI
BRF 10	110	47.5	A	1955	2008		SI
			B	1909	2008		SI
BRF 11	147	45.2	A	1879	2008		SI
			B	1877	2008		NO
BRF 12	158	49.8	A	1868	2008		SI
			B	1864	2008		SI
BRF 13	136	53.3	A	1890	2008		SI
			B	1898	2008		NO
BRF 14	120	46.6	A	1901	2008		SI
			B	1902	2008		SI
BRF 15	108	41.2	A	1879	1984		SI
			B	1906	1983		SI
BRF 16	147	41.8	A	1879	2008		SI
			B	1882	2008		SI
BRF 17	128	43.9	A	1896	2008		SI
			B	1898	2008		SI
BRF 18	125	44.1	A	1881	1998		SI
			B	1903	2008		SI
BRF 19	139	52.9	A	1887	2008		SI
			B	1902	2008		SI
BRF 20	141	45.9	A	1960	2008	A y C son fragmentos de un mismo testigo y B y D de otro	NO
			B	1955	2007		SI
			C	1905	1947		SI
			D	1874	1947		NO
BRF 21	119	45.1	A	1909	2008		SI
			B	1899	2008		SI

Tabla 2. Características de los árboles y testigos de *Quercus robur*, *Q. petraea* e híbridos.

Individuo	Edad (años)	Diametro (cm)	Testigo	Inicio	Final	Observaciones	Maestra
BRQ 01	140	68.2	A	1889	2008	Caracteres híbridos	NO
			B	1887	2008		NO
BRQ 02	128	51.5	A	1882	2008	Caracteres híbridos	SI
			B	1901	2008		NO
BRQ 03	134	57.5	A	1911	2008	Caracteres híbridos	NO
			B	1879	2008		NO
BRQ 04	143	56.9	A	1880	2008	Caracteres híbridos	SI
			B	1884	2008		SI
BRQ 05	125	65.9	A	1889	2008	Caracteres híbridos	SI
			B	1889	2008		SI
BRQ 06	213	86	A	1809	2008	Caracteres híbridos	SI
			B	1875	2008		SI
			C	1805	1868		NO
BRQ 07	123	60.2	A	1892	2008	Situado en el hayedo, probablemente <i>Q. petraea</i>	NO
			B	1895	2008		SI
			C	1957	2008		SI
BRQ 08	171	61.7	A	1858	2008		NO
			B	1852	2008		NO
BRQ 09	121	53.6	A	1889	2008	Situado en el hayedo, probablemente <i>Q. petraea</i>	SI
			B	1887	2008		SI
BRQ 10	193	61.6	A	1850	2008	Situado en el hayedo, probablemente <i>Q. petraea</i>	SI
			B	1834	2008		SI
BRQ 11	232	74.6	A	1808	2008	<i>Q. robur</i>	NO
			B	1785	2008		NO
BRQ 12	237	61.4	A	1787	2008	<i>Q. robur</i>	SI
			B	1830	2008		NO
BRQ 13	231	55.9	A	1793	2008	<i>Q. robur</i>	SI
			B	1787	2008		SI
BRQ 14	187	67.9	A	1823	2008	Situado en el hayedo, probablemente <i>Q. petraea</i>	SI
			B	1824	2008		SI
BRQ 15	114	75.6	A	1915	2008		SI
			B	1902	2008		SI
BRQ 16	121	50.3	A	1899	2008		SI
			B	1904	2008		NO
BRQ 17	136	80.2	A	1877	2008		NO
			B	1878	2008		NO
BRQ 18	170	90.9	A	1849	1998	<i>Q. robur</i>	SI
			B	1841	2008		SI
BRQ 19	193	78.4	A	1821	2008	<i>Q. robur</i>	NO
			B	1894	2008		NO
BRQ 20	204	77.5	A	1810	2008		NO
			B	1836	2008		SI



Figura 2. Aspecto parcial del rodal muestreado, con un notable ejemplar de *Quercus robur* al fondo en el centro, cuya edad supera los 230 años, y abundancia local de regeneración de *Fagus sylvatica*.

### *Series individuales de crecimiento*

Para evaluar la variabilidad individual del crecimiento en los árboles muestreados, representamos gráficamente las series individuales obtenidas como el promedio de al menos dos series por árbol. En el caso de *F. sylvatica*, las series medias individuales mostraron una gran semejanza entre sí, con un claro patrón de supresión inicial del crecimiento y liberación sincrónica hacia el año 1898 (Figura 3). Siguiendo a este drástico episodio de liberación, el crecimiento se mantuvo con elevadas tasas durante un período de entre 20 y 40 años, variable según los individuos. Entre 1940 y 1960 el crecimiento de *F. sylvatica* fue muy reducido, correspondiendo este período a una fase de cierre del dosel e intensa competencia. Finalmente, durante las últimas 5 décadas, se observan liberaciones

del crecimiento de pequeña intensidad, probablemente causadas por episodios de perturbación a nivel del dosel forestal.

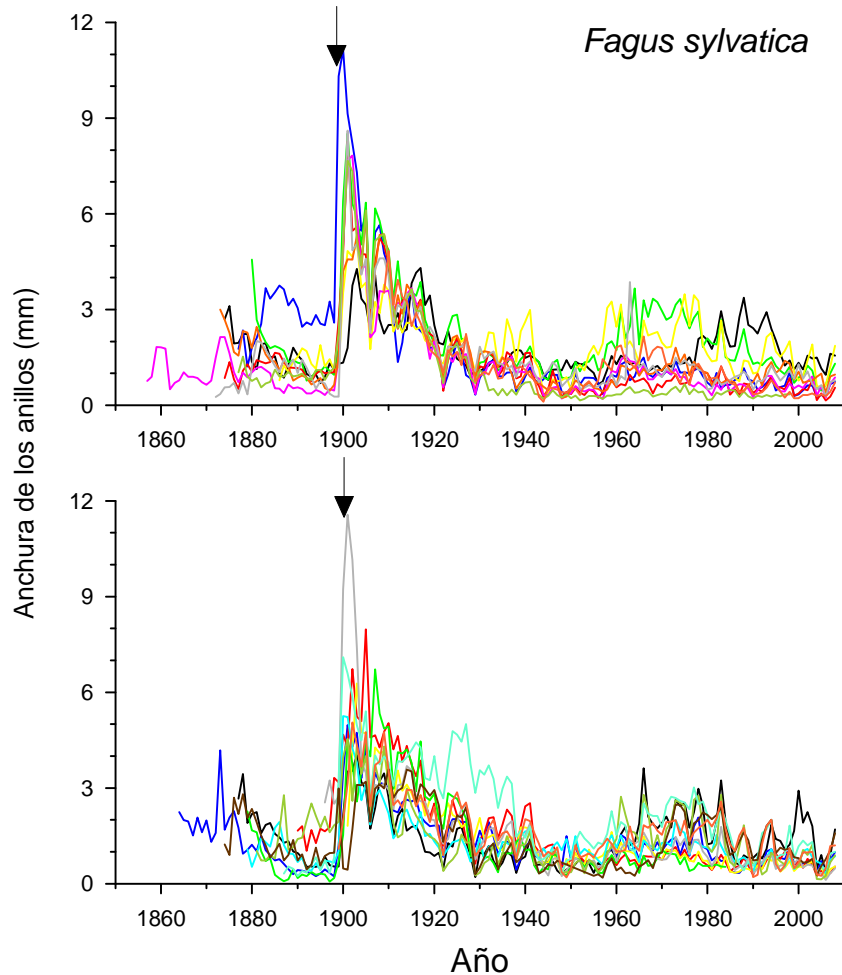


Figura 3. Series individuales de crecimiento de *Fagus sylvatica*: en el gráfico superior se muestran 10 series individuales y en el inferior las 11 restantes. La flecha indica el año 1898 en que se produjo la liberación del crecimiento más importante.

En el caso de *Quercus* spp., las series individuales de crecimiento mostraron patrones más heterogéneos, con una mayor diferenciación entre individuos. Esto sugiere que los robles se desarrollaron en condiciones más heterogéneas que las hayas, probablemente combinándose diferentes grados de cierre del dosel y una mayor diversidad de variaciones temporales de la intensidad de la competencia (Figura 4). Los árboles < 140 años mostraron en general un período inicial con elevadas tasas de crecimiento y un posterior estancamiento a partir de 1940. Sin embargo, también se distinguen patrones divergentes, como alguno con un período inicial de supresión y liberación del crecimiento en 1898,

siguiendo un patrón muy similar al de las hayas, e incluso en un árbol una destacable liberación del crecimiento hacia 1955.

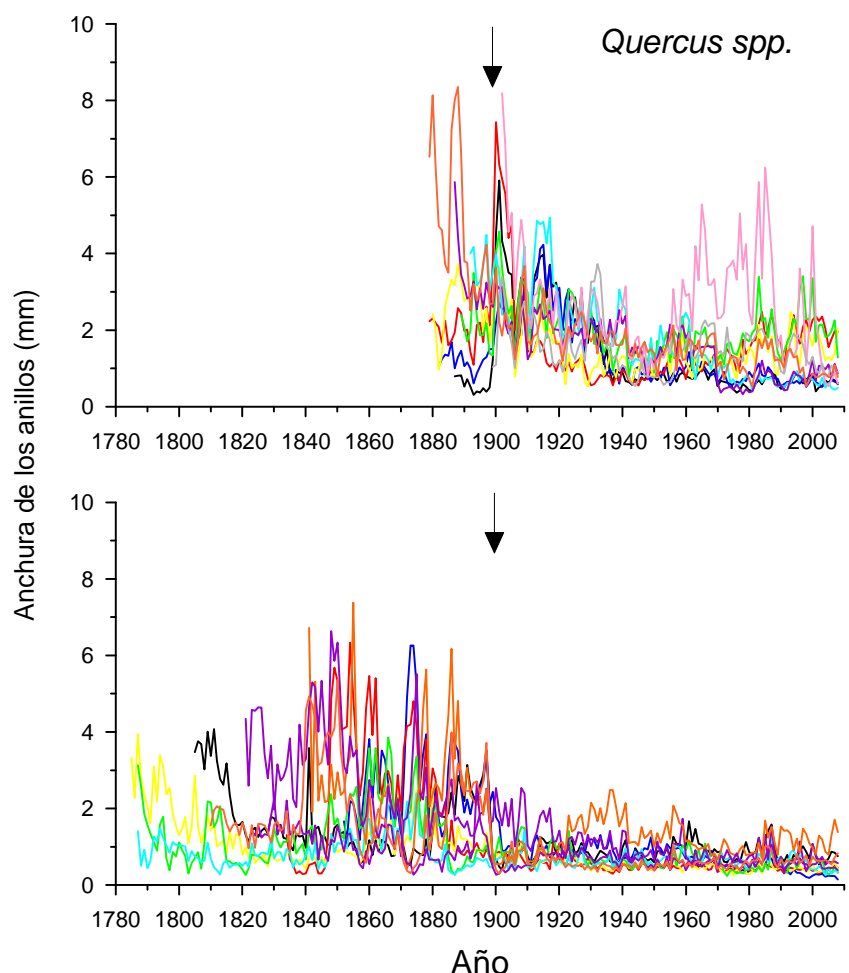


Figura 4. Series individuales de crecimiento de *Quercus* spp.: en el gráfico superior se muestran las 10 series individuales de los árboles de menor edad (< 140 años) y en el inferior las 10 de los árboles más viejos (>150 años). La flecha indica el año 1898.

En los *Quercus* spp. > 150 años, sin embargo, predomina un patrón descendente del crecimiento con la edad, siendo patente una drástica disminución de las tasas de crecimiento hacia el año 1898 en diversos individuos (Figura 4), lo cual sugiere que varios de estos árboles maduros pudieron haber sido desmochados en este año. A partir del año 1898 predominan las bajas tasas de crecimiento en los robles maduros, por debajo de 2 mm o incluso de 1 mm por año. Estos resultados sugieren que el episodio de apertura del dosel del año 1898, que supuso una liberación del crecimiento de las hayas y algunos jóvenes robles, podría estar relacionado con un episodio de desmoche del arbolado maduro.

### Patrones de crecimiento de las poblaciones

Las tendencias observadas en las series individuales se hacen más patentes en los patrones promedio por especie y por clases de edad (Figura 5). El período inicial de crecimiento reducido y el drástico aumento del crecimiento en 1898 son evidentes en el caso de *F. sylvatica*. La tendencia descendente del crecimiento es también evidente en los robles < 140 años, además de la drástica disminución del crecimiento en los robles > 150 años en 1898. En todos los casos se manifiesta una reducción de las tasas de crecimiento hacia en año 1940 y unas tasa medias mantenidas hasta la actualidad (Figura 5), lo cual es probablemente consecuencia de una notable aumento de la densidad del dosel y la intensidad de la competencia en el rodal estudiado, en comparación con épocas anteriores.

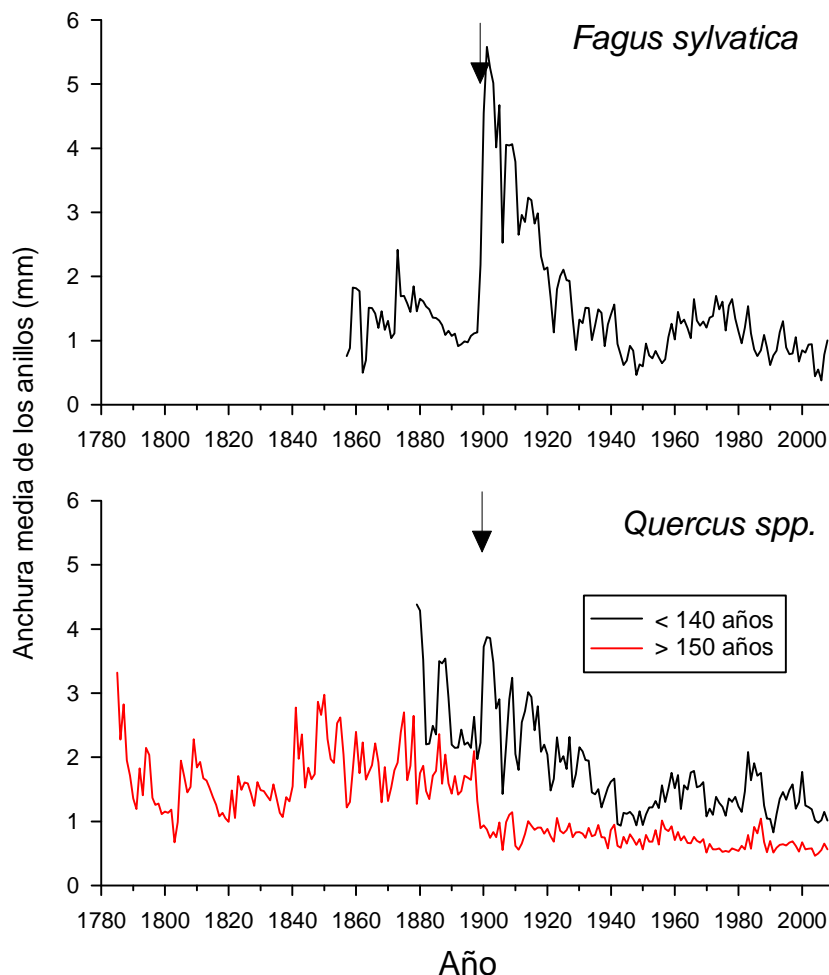


Figura 5. Series medias del crecimiento de *F. sylvatica* y *Quercus* spp.: en el gráfico inferior se diferencian la serie media de los árboles de menor edad (línea negra, < 140 años) y la serie media de los árboles más viejos (línea roja, >150 años). La flecha indica el año 1898.

Para poner de manifiesto más claramente las liberaciones del crecimiento, resultantes de aperturas de claros en el dosel, se realizó un análisis del porcentaje de cambio en el crecimiento. Se calcularon tanto el porcentaje medio de cambio comparando períodos consecutivos de 10 años, como la proporción de individuos por año que superaron el 50% de cambio, considerado el umbral mínimo para detectar un cambio significativo. En el caso de *F. sylvatica* la señal de liberación más clara tuvo lugar en 1898, con un porcentaje medio de liberación próximo al 500% y un 100% de individuos liberados (Figura 6). Un segundo episodio menos relevante se detectó en esta especie en 1957, con una intensidad de liberación próxima al 100%, probablemente debido a apertura de huecos en el dosel por un vendaval.

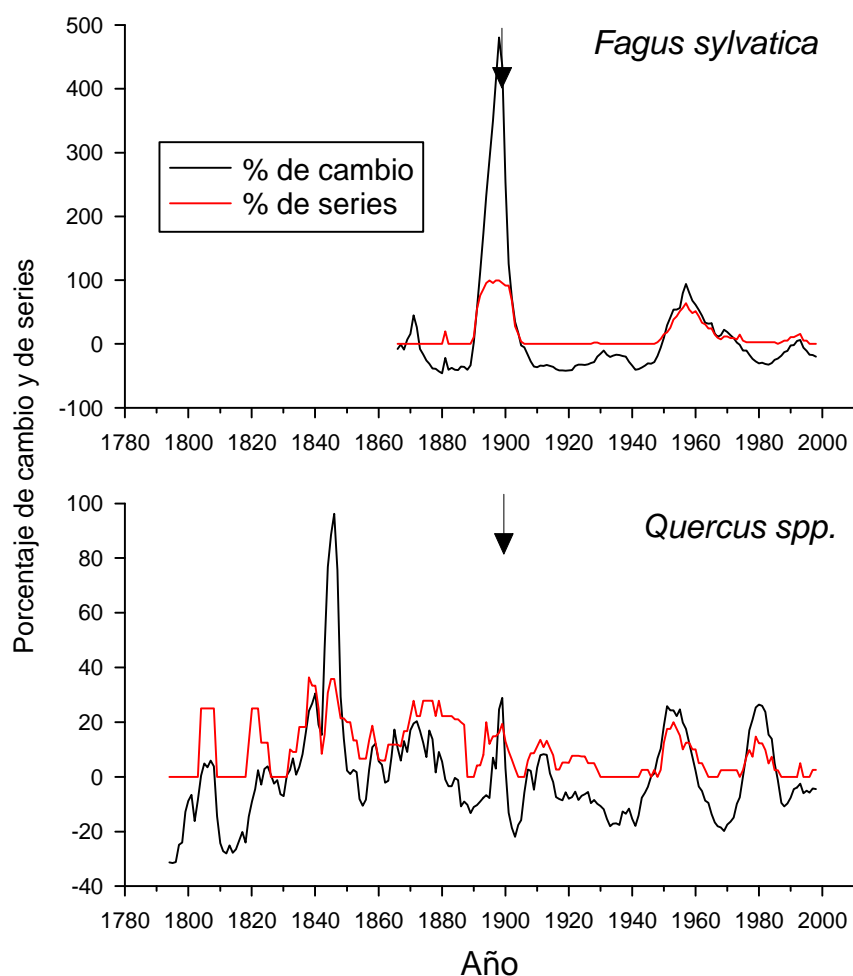


Figura 6. Porcentaje medio de cambio del crecimiento y proporción de series con un cambio > 50% de *F. sylvatica* y *Quercus* spp. Estos gráficos destacan la presencia de cambios bruscos del crecimiento en el rodal estudiado. La flecha indica el año 1898.



En el caso de *Quercus* spp., el único episodio de liberación del crecimiento revelante se observó en 1846, con un porcentaje medio de cambio en el crecimiento del 96% pero tan solo un 35% de las series afectadas (Figura 6). Este resultado indica que la especie más afectada por las liberaciones fue *F. sylvatica*, probablemente debido a que el aclareo del dosel que tuvo lugar en 1898, supuso la liberación de las hayas jóvenes existentes en el momento, pero no tuvo un efecto significativo sobre los robles.

### Efectos del clima sobre el crecimiento

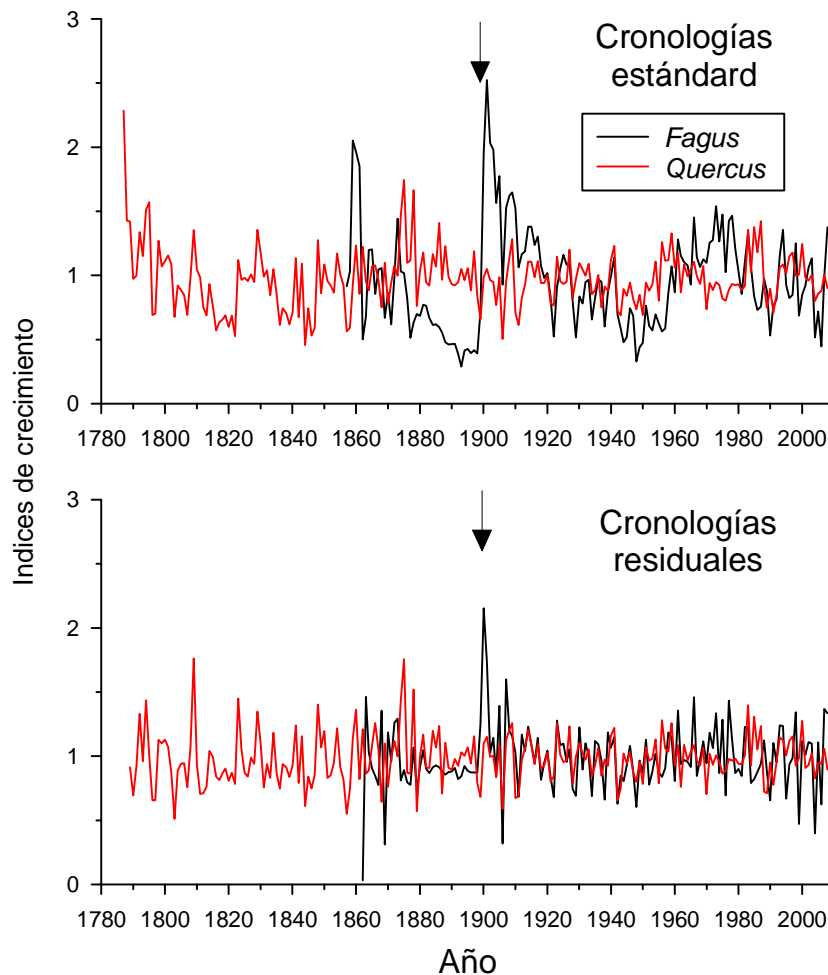


Figura 7. Cronologías de índices de crecimiento de *F. sylvatica* (línea negra) y *Quercus* spp. (línea roja). En el gráfico superior se muestran las cronologías estándar (sin eliminación de la autocorrelación serial), en el gráfico inferior las cronologías residuales (sin autocorrelación serial). La flecha indica el año 1898.

Las cronologías estándar y residuales de ambas especies guardan una gran similitud, en algunos períodos más que en otros, conservando la señal propia de la perturbación más relevante ocurrida en 1898, en especial las cronologías de *F. sylvatica* (Figura 7). El período más similar es 1910-1959, en que ambas cronologías residuales muestran una correlación de 0,60 ( $P < 0,0001$ ), mientras que en el período 1960-2008 la correlación entre cronologías es considerablemente inferior y no significativa ( $r = 0,20$ ,  $P = 0,168$ ). Este resultado indica una divergencia entre especies en los patrones de crecimiento durante las últimas décadas, efecto que podría tener una base climática.

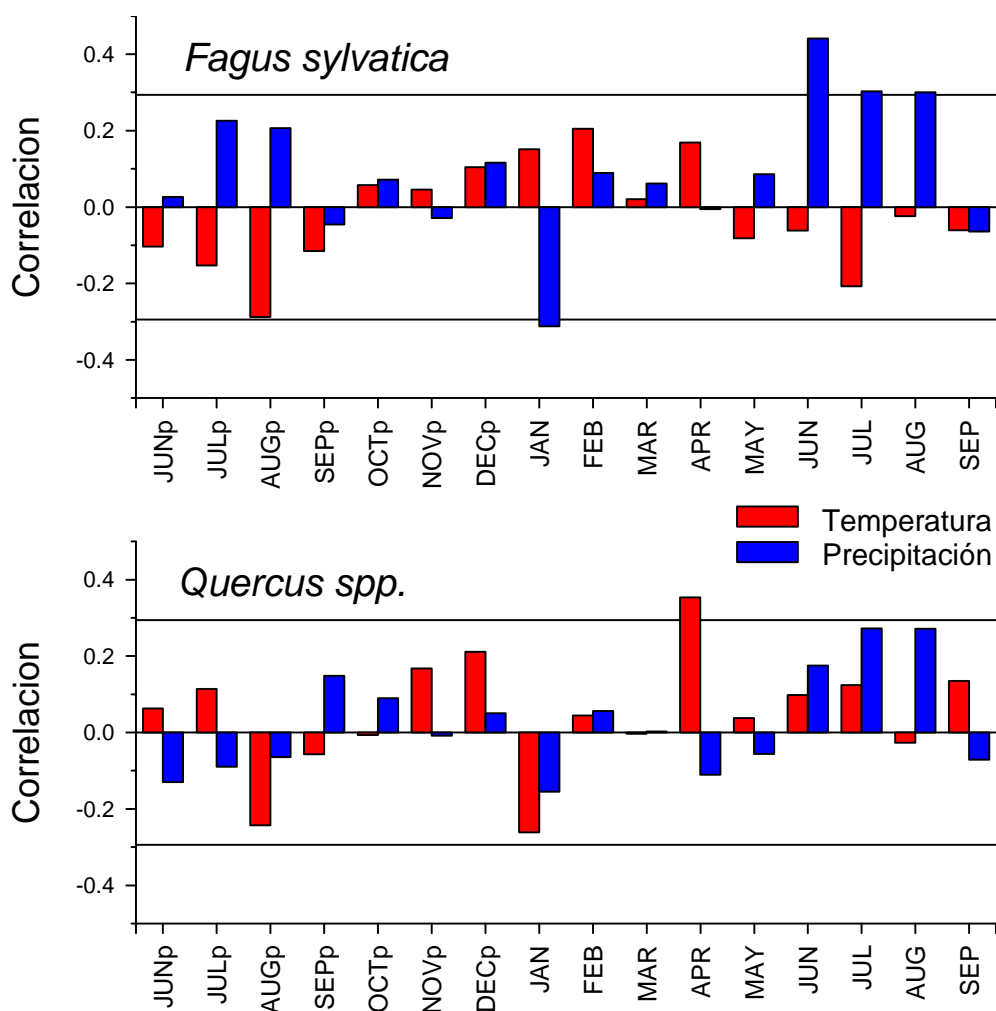


Figura 8. Correlaciones entre las cronologías de crecimiento de *F. sylvatica* (gráfico superior) y *Quercus spp.* (gráfico inferior) y la temperatura media mensual (barras rojas) y precipitación total mensual (barras azules) durante el período 1963-2007. Las líneas horizontales representan los intervalos de significación ( $P < 0,05$ ) para los coeficientes de correlación.

Las correlaciones entre los índices anuales de crecimiento y la temperatura y precipitación mensuales durante el período 1963-2007 muestran una sensibilidad climática muy diferente entre *Fagus* y *Quercus* en Bertiz (Figura 8). En el caso de *F. sylvatica*, existe una correlación negativa del crecimiento con la precipitación de enero, y positiva con la precipitación de junio, julio y agosto. En el caso de *Quercus* spp., solo se detectó una respuesta positiva a la temperatura de abril. Estas respuestas diferenciales indican que en el rodal estudiado, el crecimiento de *Fagus* es más sensible al clima (53,06% del crecimiento explicado por el clima;  $R^2$  múltiple = 0,728;  $P = 0,0015$ ) que *Quercus* (41,52% del crecimiento explicado por el clima;  $R^2$  múltiple = 0,644;  $P = 0,0037$ ), en particular a la escasez de precipitación estival, la cual constituye un factor limitante para el crecimiento de *Fagus* pero no de *Quercus*. En cualquier caso, la variación climática constituye un factor que determina una considerable proporción del crecimiento, de forma significativa en ambos grupos. Sería necesario disponer de series de datos climáticos más extensas, abarcando al menos el 1910-1959, para contrastar si durante la primera mitad del siglo XX existió una sensibilidad climática común entre ambos grupos, como sería de esperar a juzgar por la gran semejanza entre sus patrones de crecimiento durante este período.

## 6)- Conclusiones

El rodal de bosque muestreado en el Parque Natural Señorío de Bertiz como una localidad más para nuestro proyecto sobre dendrocronología de especies caducifolias en el norte de la Península Ibérica, muestra características de un bosque maduro con una activa dinámica sucesional. Probablemente, la dinámica del dosel y de sustitución de especies (antiguo predominio de un bosque abierto dominado por *Q. robur*, actual dominio de *F. sylvatica* en todos los estratos del dosel forestal) es común a la mayoría del Parque. Las poblaciones prospectadas muestran una excelente calidad para su análisis dendrocronológico, tanto desde el punto de vista de la dinámica de la masa forestal, como para su análisis dendroclimático en el contexto de una red de cronologías en un área geográfica amplia de *F. sylvatica* y *Quercus* spp. Aunque probablemente la validez de las tendencias sucesionales observadas y la dinámica de rodal es de ámbito local, por las observaciones realizadas a lo largo de la extensión del Parque, la tendencia de predominio

de *F. sylvatica* es generalizada en la mayoría de la extensión de Bertiz. Una excepción la constituye el área de Irretarazu, donde los robles (*Q. robur* y *Q. pyrenaica*) continúan dominando localmente en áreas más expuestas y de suelo más seco y somero, donde la expansión y regeneración del haya está menos avanzada debido a factores ambientales o a una historia diferencial de manejo. En este sentido, Bertiz constituye una masa forestal privilegiada con un excelente grado de conservación, tanto por la abundancia de arbolado maduro como por la notable regeneración natural de las especies arbóreas a lo largo de todo su ámbito geográfico, siendo muy apropiada para la realización de todo tipo de estudios ecológicos enfocados al análisis de la dinámica forestal y la reconstrucción de la historia del manejo.

## 7)- Archivo anexo

En el archivo de datos que se anexa, con formato Microsoft Excel, llamado "Datos dendrocronológicos.xlm" se incluyen todos los datos derivados del muestreo dendrocronológico efectuado en Bertiz. Estos datos son de uso exclusivo para la Dirección del Parque Natural de Bertiz y el Servicio de Conservación de la Biodiversidad del Gobierno de Navarra. No serán por tanto suministrados a personas o instituciones ajenas a estos organismos sin el consentimiento expreso de los investigadores que han realizado el estudio.

La organización de la información en este archivo es la siguiente:

- Hoja "Datos individuales": incluye los datos relativos al arbolado muestreado y los testigos extraídos, información repetida en las Tablas 1 y 2 de este informe.
- Hoja "Series brutas Fagus": la primera matriz de datos incluye las series individuales de anchuras de anillos, en milímetros, medias sobre todos los testigos de madera. La segunda matriz de datos comprende las series de crecimiento individuales de cada árbol obtenidas promediando las series anteriores. La última columna de esta matriz es la cronología promedio a anchuras de anillo para *Fagus*.
- Hoja "Series brutas Quercus": la primera matriz de datos incluye las series individuales de anchuras de anillos, en milímetros, medias sobre todos los

testigos de madera. La segunda matriz de datos comprende las series de crecimiento individuales de cada árbol obtenidas promediando las series anteriores. En la última matriz se han reordenado las series individuales anteriores en función de su edad, separándose para calcular la cronología promedio a anchuras de anillo para *Quercus* de los árboles < 140 años de edad y > 150 años de edad.

- Hoja "Liberaciones": la primera matriz es el valor de los porcentajes de cambio del crecimiento para cada serie individual para *Fagus*. La última columna de esta matriz es el cambio medio del crecimiento para *Fagus* y la siguiente matriz es un sumario anual del número de series, número de series con liberación y proporción de series con liberación para *Fagus*. Las siguientes tres matrices siguen el mismo orden que el descrito anteriormente para *Fagus*, solo que referido a *Quercus*.
- Hoja "Cronologías": incluye las cronologías estándar y residual de *Fagus* y *Quercus*.

Para cualquier duda sobre la interpretación de este archivo o cualquier otro aspecto del informe, contactar con el Investigador responsable del Proyecto (ver página de portada).