



**Análisis dendrocronológico y
esfuerzo reproductivo en
Castanea sativa Mill.**

Cristina Frade Lago

2018

Agradecimientos

En primer lugar a Sonia, sin la cual no podría haber realizado este estudio; gracias por darle alas a una ilusión, por los ánimos y, sobre todo, por presentarme a mi tutor. A él gracias por darle forma, por su paciencia, por enseñarme y ayudarme en todo lo necesario. No quería olvidar a mis amigos, que llevan escuchándome, apoyándome y, definitivamente, impulsándome día tras día; sonrisa tras sonrisa. Y, para el final, dejo lo más importante: mi familia. A mi hermano gracias, por tus sabios consejos basados en la experiencia y por la tranquilidad que me aportas. Gracias a mis padres por la confianza depositada en sus hijos y, más que nada, por ser el claro ejemplo de la perseverancia. Mamá, a ti por ser la alegría que nos levanta a todos haciendo la vida más llevadera. A mi papá agradecerle las enseñanzas sobre el castaño, por sembrar una semillita en mí de la que brotó esta ilusión. No me olvido de mis tíos, Cristina y Fernando, que también han aportado su granito. Y, por último, a mis abuelos, por estar siempre. Sin todos vosotros acabar esta carrera no hubiera sido tan satisfactorio.

Dendrochronological analysis and reproductive effort of *Castanea sativa* Mill.

Abstract

The sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) is a deciduous tree with a European centenary tradition. Specifically, in the 'El Bierzo' region (situated in the north of Spain) it has constituted a source of nutrition for many years. Therefore, the species is really important for the population of El Bierzo's economy. This study focuses on quantifying climate-growth and climate-production associations to find out which are the most important environmental factors affecting this tree species. Also, we analysed the possibility of the relationship between growth and production. Two different sweet chestnut locations were examined encompassing a total of 22 trees. We used dendrochronology to relate all these variables; a science which examines the information included in the annual tree-rings. Using several statistical methods, we found out that the sweet chestnut crops are protected from fluctuations in the climate. Thus average mean sensitivity (ring-width variability) and series intercorrelation (correlation with master series) are low. Therefore, this implies that none of the environmental factors studied (rainfall and temperature) are limiting. Nevertheless, spring rainfall increases the annual growth of *Castanea sativa* Mill., indicating that the species is sensitive to summer hydrological stress. In addition, secondary growth of the previous year determines the actual growth due to its necessary resources. Relating to association between ring-width and production, we showed their direct correlation: when conditions in a year are ideal for growth, it is also optimal for production. Finally, when we tackled the production-rainfall correlation, we found that almost all of our analysis had no meaningful results owing to the lack of production data (we had only 8 years). Even so, our study can affirm that August rains improve the crop. In summary, a wet spring would improve the ring-width (which is directly proportional to the production) and a wet August would increase the amount of fruit.

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Objetivos	4
3. Métodos	
3.1. Área de estudio	5
3.2. Muestreo	6
3.3. Procesamiento de muestras	7
3.4. Obtención de datos climáticos y de producción	8
3.5. Análisis estadísticos	8
4. Resultados	
4.1. Descripción de la cronología	10
4.2. Relación clima-crecimiento	11
4.3. Relación producción-crecimiento	13
4.4. Relación producción-clima	14
5. Discusión	17
6. Conclusión	20
7. Bibliografía	21

1. Introducción

El castaño (*Castanea sativa* Mill.) es un árbol caducifolio de la familia Fagaceae con una importante tradición centenaria, especialmente en las áreas rurales. Tiene apetencias acidófilas, aunque también se puede asentar en suelos calizos descalcificados con gran cantidad de nutrientes. Exige precipitaciones superiores a los 600 mm y un clima templado (Álvarez et al., 2000). Durante las últimas glaciaciones, la especie sobrevivió en Europa -junto a otros taxones como *Quercus*- gracias a la existencia de refugios cuaternarios en las diferentes Penínsulas del Mediterráneo, (Huntley y Birks, 1983; Krebs et al., 2004) incluyendo uno en la Región Cantábrica de la Península Ibérica. A partir de estos refugios la especie recolonizó el continente, conociendo actualmente dos orígenes genéticos geográficos: uno proveniente de España/Italia y el otro de Grecia/Turquía (Mattioni et al., 2013). De la familia de las fagáceas, es la especie que ha sufrido un mayor impacto humano, por ello la distribución actual se debe en un mayor grado a la actividad humana que a la migración y colonización natural (Fineschi et al., 2000). En concreto, fueron los griegos y, particularmente, romanos quienes lo fueron expandiendo por toda Europa para darle uso, sobre todo, a su madera. No obstante, su desarrollo como cultivo *per se*, para utilizar el fruto (la castaña), sería tras el Imperio Romano y está más relacionado con la estructura socio-económica de la Edad Media (Conedera et al., 2004; Jarman et al., 2017). Así, el manejo de esta especie para la producción de la castaña se hizo dominante e indispensable para la supervivencia de muchas poblaciones de la montaña; en España concretamente, constituyó una fuente básica de alimento para todo el Norte Peninsular durante siglos (Álvarez et al., 2000), incluyendo la Región del Bierzo -donde se realiza este trabajo-.

Por tanto, además de su alto valor paisajístico, debido al gran porte de los castaños más longevos (pueden llegar a medir más de 30 m de altura y superar los 5 m de diámetro), es importante destacar su relevancia económica en las zonas rurales donde gran cantidad de poblaciones dependen de su producción para poder vivir.

Centrándonos en el área de la dendrocronología; el castaño es una especie adecuada para realizar estudios en este campo debido a su estructura de leñosa de poro anillado y su crecimiento secundario anual, permitiendo distinguir claramente el límite entre un año y otro (Romagnoli et al., 2004). El crecimiento anual se debe a que es un árbol de la región templada donde se distinguen claramente un periodo de actividad y otro de hibernación (Fonti et al., 2006).

Explicaremos esto con un mayor detenimiento; los árboles mantienen su crecimiento durante toda la vida, aumentando su tamaño con el tiempo. Este crecimiento tiene su origen en unos tejidos

embrionarios conformados por células indiferenciadas, las células meristemáticas, que se multiplican y diferencian formando nuevos tejidos y órganos. Además, existen dos tipos de crecimiento muy diferentes: crecimiento en altura, causado por los meristemos primarios, y crecimiento en grosor, donde son los meristemos secundarios los responsables (Alonso, p.55-70, 2011; Gutiérrez, 2008). Debido a que la dendrocronología es una “disciplina científica que permite datar los anillos de crecimiento anuales y extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento, siendo el objetivo principal establecer cronologías o series maestras” (Gutiérrez, 2008), es el crecimiento en grosor el principal objeto de estudio de este trabajo. Este crecimiento secundario depende concretamente de dos meristemos: el cámbium (meristemo lateral) que dará lugar al sistema vascular (xilema y floema) y al sistema de sostén, y el felógeno o cámbium suberoso que formará el súber o corteza. Ambos meristemos muestran periodos cíclicos de actividad, regulados por factores exógenos, tales como la duración de los días o la temperatura, y endógenos u hormonales, principalmente por auxina (Alonso, p. 70-180, 2011; Evert, p.333-360, 2008).

Concretamente, las plantas que viven en climas templados, tales como nuestra especie en cuestión (*Castanea sativa* Mill.), presentan una marcada parada en la actividad del cámbium o hibernación durante el periodo más desfavorable del año, reactivándose con la llegada del buen tiempo en primavera. Este patrón anual de crecimiento y reposo queda registrado en la madera del árbol en forma de capas concéntricas pues las células que se forman en primavera son diferentes a las del final de la estación de crecimiento anterior, lo que permite la formación de anillos de crecimiento y su fácil visualización en un corte transversal (Fritts, 2001). Esta diferencia celular existe en el propio anillo anual de crecimiento dando lugar a dos semianillos: uno claro, que se corresponde con la época favorable, cuyas células son más anchas y es menos denso (leño temprano), y otro más oscuro con unas paredes celulares proporcionalmente más gruesas, haciéndolo más denso (leño tardío). Además, las angiospermas, a diferencia de las gimnospermas, presentan vasos conductores especializados en el transporte hídrico; de este modo, la estructura de su madera se conoce como “porosa” (Speer, 2009). A su vez, basándose en esta porosidad, se distinguen dos tipos principales de madera: porosa difusa y porosa anillada. El castaño presenta esta madera de poro en anillo, caracterizada por formar al comienzo de la estación de crecimiento una o pocas filas de grandes vasos dispuestas al principio del anillo y conformando, así, el leño temprano; mientras que la madera tardía presenta una gran cantidad de fibras y algún vaso pequeño dispuesto entre las mismas. Todo esto hace que la distinción entre madera temprana y tardía, así como entre anillos, sea fácil en estas especies (Evert, p. 316-318, 2008; Camisón et al. et al., 2015).

La dendrocronología está conformada por una serie de principios y métodos que permiten asignar a cada anillo de crecimiento el año exacto en el cual se formó (datación) e interpretar la información contenida en los mismos (Cook y Kairiukstis, 1990; Mendivelso et al., 2016). En función de los factores ambientales (e internos), la anchura de los anillos varía de un año a otro – siendo más anchos aquellos que se corresponden con un año favorable- y es la dendrocronología la disciplina encargada de interpretar y utilizar estos datos para valorar qué factores han influido en el crecimiento del árbol a lo largo de su vida.

Para obtener una datación exacta basta con tener múltiples árboles de una misma región climática: al someterse a unos factores ambientales iguales la variación de su tasa de crecimiento anual será sincrónica, permitiendo identificar (mediante técnicas gráficas y estadísticas) patrones de crecimiento coincidentes en sus anillos y, así, superponer distintas series para establecer dicha datación. Este método es conocido como principio de datación cruzada o cofechado y fundamental en la dendrocronología, ya que asigna el año de calendario con el que se trabajará a cada anillo (Kuniholm, 2001; Speer, 2009; Camisón et al. et al., 2015). El proceso de cofechado lleva implícito el principio de replicación: se requieren diversas muestras para conseguir una cronología media exacta que refleje la señal de interés común a todos los árboles (Speer, 2009).

Además, según el principio de los factores limitantes, cabe destacar la existencia de árboles susceptibles o sensibles que responden a las fluctuaciones del más limitante de los factores que le afectan produciendo anillos visiblemente más anchos o estrechos (Fritts, 1971). De esta manera, correlacionando el ancho de los anillos con los factores a los que se expone la especie en estudio, se puede determinar cuál es el factor que limita su crecimiento.

2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es analizar la respuesta al clima del crecimiento en *Castanea sativa* Mill., especie fundamental en la economía del Bierzo (León).

Los objetivos concretos son:

- Investigar la existencia de relación entre el esfuerzo reproductor (producción) y el crecimiento anual.
- Analizar la respuesta al clima de la reproducción en *Castanea sativa* Mill.
- Determinar las variables climáticas limitantes para el crecimiento del castaño.
- Establecer los meses críticos para el crecimiento de la especie.
- Proponer los meses críticos para mejorar la explotación del fruto.

3. Métodos

3.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra situada en la comarca de El Bierzo, ubicada al noroeste de la provincia de León. Esta comarca se caracteriza por presentar un clima oceánico de transición, donde los contrastes térmicos son más marcados que en el clima atlántico del norte peninsular y las precipitaciones anuales superan a las del mediterráneo continental característico de Castilla y León. Esto se debe a su peculiar geografía constituida por una depresión rodeada de cadenas montañosas. Concretamente, las áreas de muestreo se encuentran en las zonas montañosas, sometidas a una mayor influencia atlántica debido a su altitud, donde la precipitación media anual se encuentra en torno a los 700 mm y la temperatura media no excede los 12°C. A su vez hay un periodo de sequía estival de varios meses, de tal manera que las lluvias se producen principalmente en la época invernal y primaveral (véase figura 1).

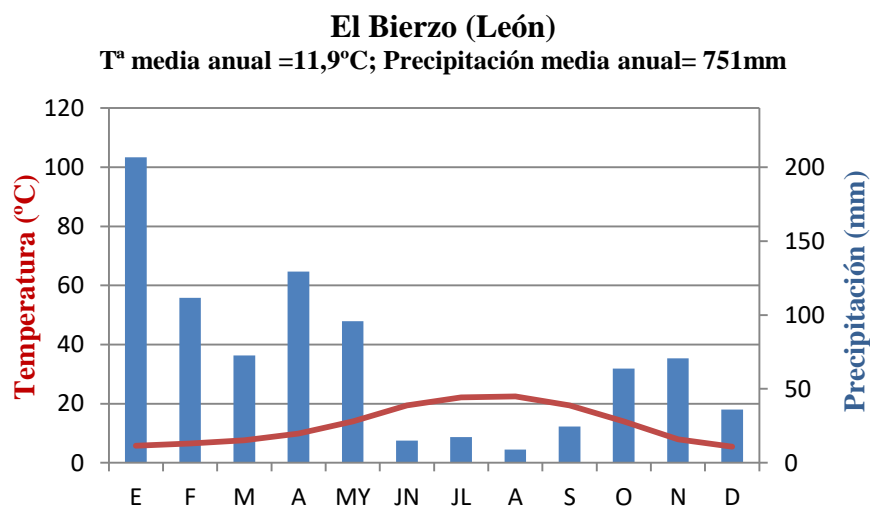


Figura 1. Diagrama ombrotérmico de la zona: la línea sólida roja indica la temperatura media mensual y las barras azules la precipitación. Nótese la sequía durante los meses de verano y la abundancia de precipitaciones en invierno y primavera. *Fuente: elaboración propia a partir de los datos climáticos de 2016 obtenidos de KMNI climate explorer.*

El área de muestreo se divide en dos explotaciones frutales de castaño (sotos), ambas situadas en el Macizo Galaico, próximas a la Sierra de Ancares. Los suelos son principalmente ácidos dando lugar a un paisaje colindante típico eurosiberiano caracterizado por la dominancia arbórea de *Quercus robur* y la presencia de un sotobosque con abundante *Erica australis* y distintas fabáceas. La orientación de ambos sotos es NE abundando la sombra durante el día. El primero de ellos presenta más de 100 árboles y el segundo únicamente cuenta con dos ejemplares. El soto con mayor número

de ejemplares se encuentra a una altitud de 941 msnm, bajo las coordenadas geográficas 42°42'23"N, 6°56'48"O; mientras que el segundo se localiza a 890 msnm, 42°40'26"N, 6°49'43"O. Las explotaciones se encuentran manejadas por el hombre en cuanto a poda de juveniles, favoreciendo el crecimiento y, también, retirada de hojas secas de la superficie y brotes de otras especies para facilitar la recogida del fruto cuando proceda.

3.2. Muestreo

El muestreo se realizó considerando como parcelas cada uno de los sotos, escogiendo estos en función de la presencia de datos de producción. Para localizarlos, fueron los propietarios los responsables de mostrar su ubicación. En el primero de ellos, conformado con más de un centenar de castaños, se seleccionaron ejemplares descartando aquellos muy jóvenes cuya producción sería nula y el manejo considerable. El otro soto, al poseer únicamente dos árboles, fue muestreado al completo. Mediante barrenas Pressler, manualmente, de cada árbol se extrajo un testigo perpendicular al tronco y a una altura de 1,40 m aproximadamente (ilustrado en la figura 2). Además se midió su diámetro a la altura del pecho.



Figura 2. Instantánea tomada en el soto número dos durante la recogida manual de muestras.

Se colectaron 50 testigos en total, teniendo en cuenta que un tamaño mínimo de muestra adecuado oscila entre los 20 y 30 testigos (Speer, 2009), para evitar considerar las tendencias individuales de los árboles y conseguir estabilizar la varianza (además de minimizar el ruido climático) siguiendo el Principio de la replicación (Fritts, 1971).

3.3. Procesamiento de muestras

Se transportaron los testigos al laboratorio para dejarlos secar durante varios días. A continuación, se procedió a su montaje en listones de madera acanalados que permiten su posterior lijado. Con cada testigo se utilizan distintas lijas, de grano sucesivamente más fino, para conseguir una alta resolución que permita distinguir con claridad los anillos y la anatomía de la madera.

Para continuar, mediante un escáner PIXMA iP3600 de Canon a 2000 dpi se digitalizaron los testigos obteniendo imágenes de alta resolución con el fin de medir los anillos. Una vez guardadas las fotografías en el ordenador, se introdujeron en el software CooRecorder 7.6 (Cybis Elektronik & Data[®], 2006) expresamente diseñado para la medición de anillos, obteniendo el ancho de cada anillo completo (conocido como TRW, del inglés “tree-ring width”).

Tras ello, se realizó el cofechado de manera visual y estadística. En primer lugar, mediante el software CooRecorder 7.6 citado anteriormente se establecieron los años de calendario a los que pertenecía cada anillo. A continuación, se escogieron los testigos maestros, cuya correlación era alta, y, después, se introdujeron todos en el software CDendro (Cybis Elektronik & Data[®], 2006). Este facilitó la localización de anomalías y errores de medición en los anillos, permitiendo corregirlos. Así, se generaron dos series individuales de ancho de anillos (una por cada soto) cofechadas, es decir, con años de calendario asignados a cada uno de los anillos que conforman su crecimiento. Posteriormente, se validó estadísticamente el cofechado de las series mediante el software COFECHA (Holmes, 1983). Este programa calcula las correlaciones cruzadas entre los índices de cada serie de anillos (testigo) y el promedio del resto, o cronología maestra. Como trabaja a nivel de segmentos de series, permite identificar un error de cofechado en cualquier parte dentro de una serie de ancho de anillos (Lebourgeois et al., 2012; Camisón et al., 2015). De esta manera, se seleccionaron los testigos adecuados para el estudio, cuya correlación es alta, descartando aquellos que no casaban en sus patrones de crecimiento.

Finalmente, para poder comparar las series individuales es necesario estandarizarlas, transformando los anchos de anillo en índices adimensionales y eliminando, así, el ruido procedente de las tendencias biológicas (del patrón de crecimiento debido a la edad) y ecológicas (Speer, 2009). Dicha estandarización se efectuó mediante el software estadístico R a través de la librería dplR que funciona siguiendo el método matemático conocido como “spline” o curva de suavizado -función polinómica fraccionada-. Este método es un filtro matemático complejo que opera como una media móvil ponderada centrada en los datos, permitiendo un ajuste más flexible a la tendencia mostrada por los datos (Cook & Peters, 1981; Pérez, 1993; Speer, 2009; Camisón et al., 2015). De

esta forma, se obtuvieron cronologías estandarizadas compuestas por índices que representan las desviaciones respecto al crecimiento predicho por el modelo atribuibles al clima, entre otros factores.

3.4. Obtención de datos climáticos y de producción

Para el posterior análisis se adquirieron los datos climáticos relativos a las temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales y, también, las precipitaciones medias mensuales. Todos ellos se descargaron a partir de KMNI Climate Explorer, que utiliza el CRU (Climatic Reserch Unit, University of East Anglia), en forma de base de datos registrados mensualmente. La página dispone de los registros climáticos para cada cuadrante de una cuadrícula geográfica. Introduciendo las coordenadas geográficas de interés localiza las estaciones meteorológicas más cercanas y permite descargar los datos. Una vez descargada la información necesaria, se organizó en el programa excel (paquete Microsoft) en forma de matriz, compuesta cada una de ellas por un año de referencia y el registro mensual de cada una de las variables climáticas. Posteriormente, estas matrices serían guardadas en formato .txt para posibilitar la lectura a partir del software estadístico R con el que se realizaron algunos análisis.

En cuanto a los datos de producción, se obtuvieron gracias a la colaboración de la empresa Nova Ruta S.L. Esta facilitó, en primer lugar, los nombres de varios proveedores asiduos para que, de esta manera, se pudieran localizar aquellos sotos cuya producción de varios años estuviera registrada. Y, en segundo lugar, proporcionó las facturas anuales de compra de castañas a los susodichos, necesarias para obtener los datos brutos de producción. Las facturas utilizadas comprenden las campañas desde el 2008 hasta el 2017, exceptuando el 2010 del que no se encontraron. Estos datos, se introdujeron en el programa excel (paquete Microsoft); inicialmente se centraron a media cero y, después, se estandarizaron a desviación típica de una unidad. De esta manera se consiguieron unos índices de producción, que representan las desviaciones típicas con respecto a la media, con los que se puede trabajar estadísticamente.

3.5. Análisis estadísticos

Mediante el programa COFECHA se calcularon una serie de estadísticos utilizados en la dendrocronología ampliamente. Su objetivo es evaluar la calidad de las cronologías realizadas y, a su vez, proporcionar la información necesaria para realizar interpretaciones. Estos índices son:

- El ancho de anillo estandarizado (RWI) que representa la varianza de cada anillo con respecto a la media de la serie, siendo los valores positivos más grandes que el promedio y los negativos más estrechos.
- La sensibilidad media indica la variabilidad interanual del ancho de anillo (Speers, 2009; Lebourgeois et al., 2004), es decir, la diferencia en el crecimiento de los anillos pertenecientes a una misma serie. Su valor está comprendido entre 0 y 1, siendo 0 cuando todos los anillos de una serie tienen el mismo ancho.
- Correlación con la serie maestra. Este índice evidencia la relación existente entre todos los testigos que conforman una serie. Su valor también oscila entre 0 y 1: cuando no hay ninguna relación entre los testigos su valor es 0, mientras que si los testigos presentan unos patrones de crecimiento coincidentes la cifra se aproxima más a 1.
- El índice de autocorrelación mide la influencia del crecimiento del año previo sobre el crecimiento del año actual (Lebourgeois et al., 2004). Calcula el promedio de los coeficientes de correlación para todos los testigos de la serie cronológica. Al igual que los índices anteriores, su valor oscila entre 0 y 1.

Por otro lado, para cuantificar la influencia del clima sobre el crecimiento se utilizaron las variables climáticas mensuales de precipitación, temperatura media, mínima y máxima. Estas se correlacionaron con el ancho de anillo estandarizado obtenido a partir del programa R introduciéndolas en el mismo software. Para realizar esta calibración dendroclimática, se utilizó el paquete bootRes cuya función es calcular la respuesta y correlación entre las cronologías de ancho de anillo y los datos climáticos, dando lugar a unos gráficos donde se reflejan los intervalos significativos ($p < 0,05$) y de confianza (ver figura 4, apartado 4.2.).

Para evaluar la relación entre el ancho de anillo y la producción se utilizó un ajuste sencillo mediante una regresión lineal. En primer lugar se introdujeron en excel ambas series de datos: los que reflejan el ancho de anillo estandarizado (RWI) obtenidos a partir del programa estadístico R y los datos climáticos citados anteriormente. Una vez en el mismo programa, se realizó la función de regresión, dando lugar a un gráfico y una fórmula. Dicha fórmula resultante indica la pendiente, siendo positiva cuando el ancho de anillo y la producción aumentan de manera sincrónica. A mayores, para reforzar los resultados y poder interpretar la significancia, se introdujeron ambos tipos de datos en el software R-commander (instalado a partir del programa estadístico R) que facilita el p-valor entre otros índices.

Por último, la existencia de relación clima-producción se estableció siguiendo el mismo procedimiento –sustituyendo los datos de ancho de anillo por los de clima-. Al igual que en la evaluación anterior, la pendiente de la fórmula es negativa cuando existe una relación inversa y positiva cuando es directa, por ejemplo, si la producción se ve favorecida por el clima.

4. Resultados

4.1. Descripción de la cronología

Se obtuvieron dos cronologías, cada una de ellas correspondiente a un soto, que reflejan la cronología residual del ancho de anillo completo (véase figura 3).

La primera de ellas refleja el período comprendido entre 1963-2017 y la segunda es un poco más corta ya que incluye los años desde 1972 hasta 2017 (ver figura 3 y/o tabla 1). Aunque están registrados todos esos años, el estudio se centra en los últimos, ya que están mucho más representados, asegurando un tamaño muestral “estadísticamente adecuado” con el que poder realizar los análisis.

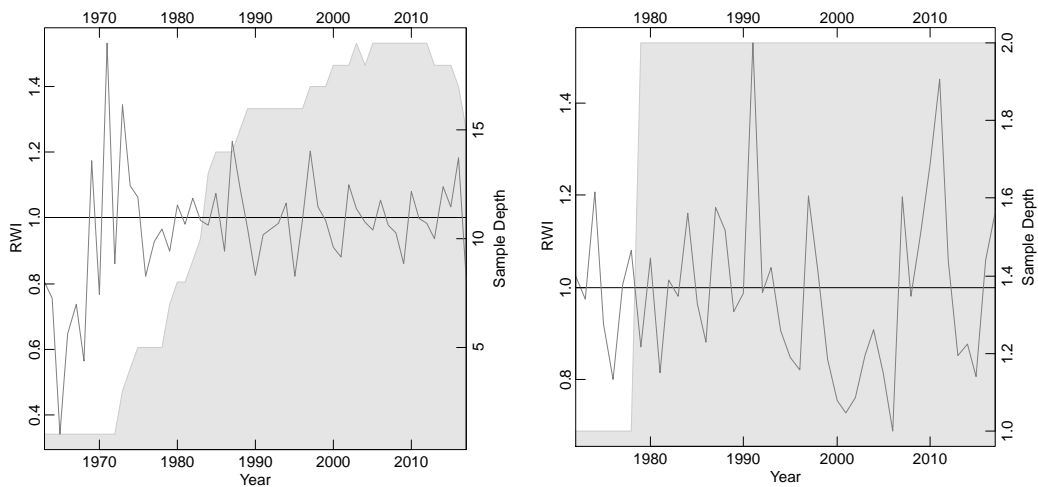


Figura 3. Cronología residual de ancho de anillos correspondientes al soto 1 (izquierda) y al soto 2 (derecha). La variable representada con una línea negra es el ancho de anillo completo, de manera estandarizada (RWI), y la zona sombreada indica lo replicado que está cada año en cuanto a número de testigos.

Las cronologías están construidas a partir de un testigo por árbol puesto que, al ser una explotación, su edad es similar y los factores ambientales a los que se han visto sometidos son los mismos; de esta manera, se ven reflejados patrones coincidentes en sus anillos. Cabe destacar que la segunda cronología, compuesta únicamente por dos árboles, se utilizó exclusivamente para

establecer relaciones con los datos de producción que provenían directamente de esos dos castaños y no para relacionar con el clima, debido a su bajo tamaño muestral.

En cuanto a la sensibilidad media, oscila entre 0,188 para el primer soto y 0,192 para el segundo (ver tabla 1), evidenciando que el ancho de los anillos varía poco en ambas series.

Por otro lado, la correlación con la serie maestra revela que el crecimiento individual de los castaños de una misma explotación no sigue con gran fidelidad los patrones que cabría esperar (ver tabla 1).

Además, el índice de autocorrelación oscila entre 0,724 para el primer soto y 0,815 para el segundo, reflejando que el crecimiento del año previo tiene una influencia considerable en el crecimiento del año actual (ver tabla 1).

Soto	Período	Número de testigos	Sensibilidad media	Correlación con serie maestra	Auto-correlación
1	1963-2017	20	0,188	0,498	0,724
2	1972-2017	2	0,192	0,433	0,815

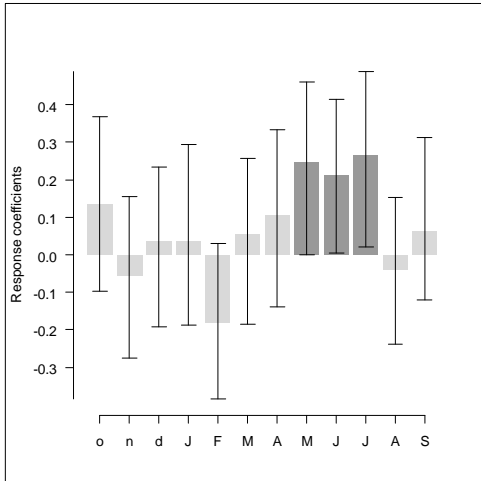
Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la cronología residual de TRW obtenidos a partir del software COFECHA.

4.2. Relación clima-crecimiento

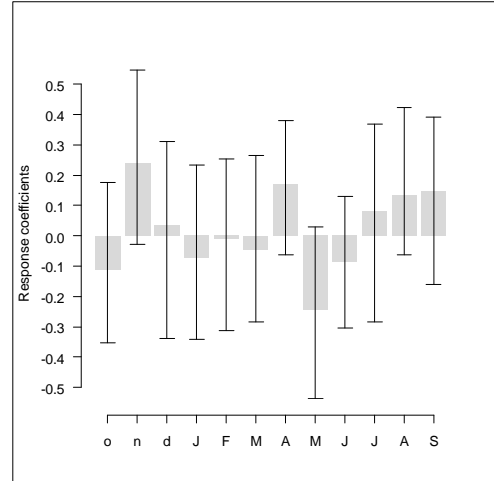
Partiendo de los datos de ancho de anillo estandarizados de la serie 1 (compuesta por 20 árboles), obtenidos como se describió en el apartado 3.4., junto con los datos climáticos, se realizó la calibración dendroclimática descrita en el apartado de análisis estadísticos, utilizando el paquete bootRes del software estadístico R.

El análisis de correlación muestra que la única variable climática que influye significativamente en el crecimiento radial de los árboles estudiados es la precipitación (ver figura 4, página 12). Respecto a las temperaturas, no se encontró ninguna correlación significativa. Concretamente, son las precipitaciones ocasionadas durante los meses de mayo, junio y julio (principio de la estación de crecimiento) las que determinan el crecimiento secundario de la especie (véase figura 4).

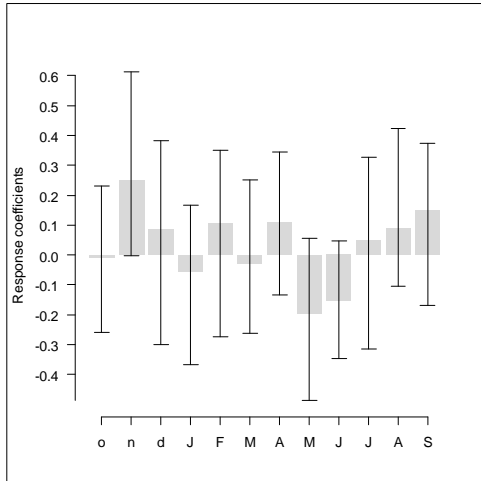
Precipitación



Temperatura media



Temperatura máxima



Temperatura mínima

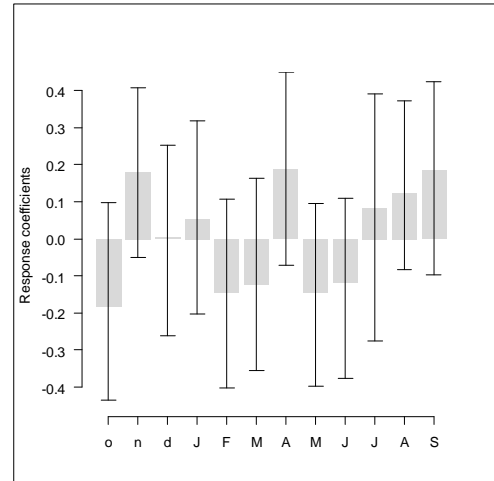


Figura 4. Respuesta climática en el soto 1. La banda gris representa el coeficiente de correlación entre la precipitación y el ancho de anillo y la banda gris oscura indica significancia. Las barras corresponden a los intervalos de confianza. Nótese la existencia de significación únicamente con la variable referida a la precipitación anual. En este gráfico destaca que los meses significativos se corresponden con el principio de la estación de crecimiento.

4.3. Relación producción-crecimiento

Una vez introducidos en excel los datos necesarios (producción y ancho de anillo estandarizados) se obtuvo la regresión lineal de ambos sotos de manera independiente, dando lugar a una fórmula y a un gráfico por cada cronología (ver figura 5). El soto 1, aparece denominado como González debido a su propietario, y el soto 2 como Lama.

La regresión lineal realizada con la primera serie de datos (González) revela una relación directa entre el crecimiento secundario del árbol y la producción. La pendiente es positiva, siendo su fórmula: $y = 4,179x - 4,1107$. Como cabría esperar, cuando el ancho de anillo aumenta también lo hace la producción (véase figura 5).

Sin embargo, al analizar el segundo soto (Lama) se genera una regresión con una pendiente negativa: $y = -1,986x + 2,0661$ (ver figura 5).

A mayores, para corroborar estos resultados obtenidos mediante excel, se introdujeron los datos en el programa R-commander, donde se obtuvieron las mismas fórmulas para las rectas y el p-valor. Dicho valor, para el primer soto es 0,049, lo que indica significación, dejando solo un 5% de posibilidad a error tipo I; mientras que para el soto perteneciente a lama es 0,298, valor que no se considera significativo.

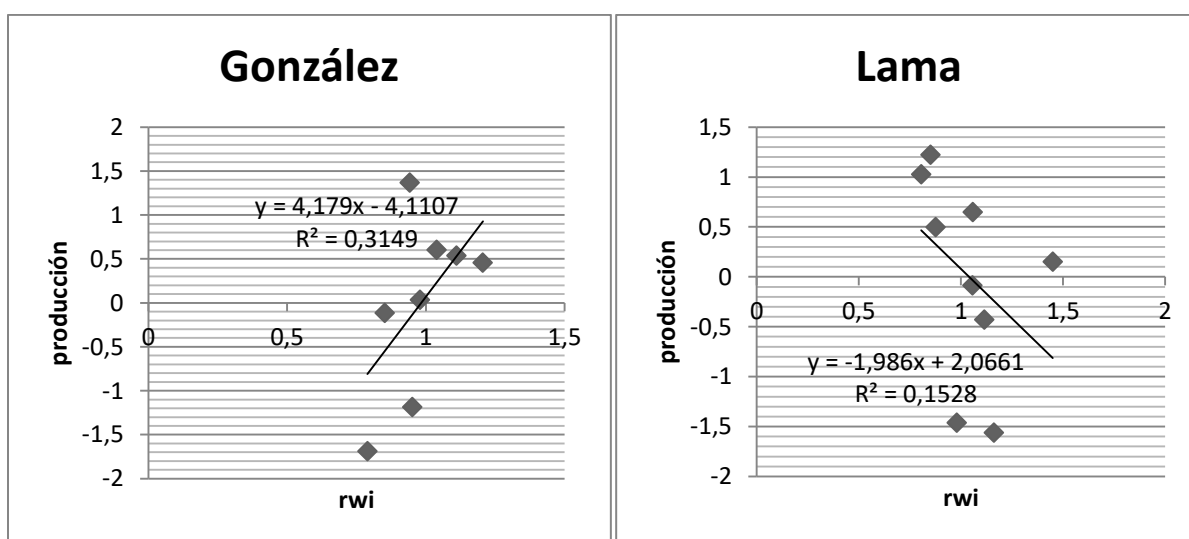


Figura 5. Regresión lineal entre la producción y el ancho de anillo. Nótese la pendiente positiva en el soto de González.

4.4. Relación producción-clima

Se utilizó excel y R-commander de nuevo, siguiendo el mismo procedimiento que en el apartado anterior, para obtener una regresión lineal. En primer lugar, los datos estandarizados de producción se analizaron junto a la suma de todas las precipitaciones correspondientes a un año de crecimiento (desde octubre del año previo hasta septiembre del actual). Obteniendo un resultado común y esperable para ambos sotos: la pendiente de las rectas es positiva (y = 0,0026x - 1,5863 en el soto 1; y = 0,0031x - 1,9753 en el segundo soto), siendo mayor la producción cuantas más lluvias se produzcan a lo largo del año (ver figura 6). Sin embargo, el p-valor obtenido mediante R-commander para el primer soto es 0,203 y para el segundo 0,1533; ambos no significativos.

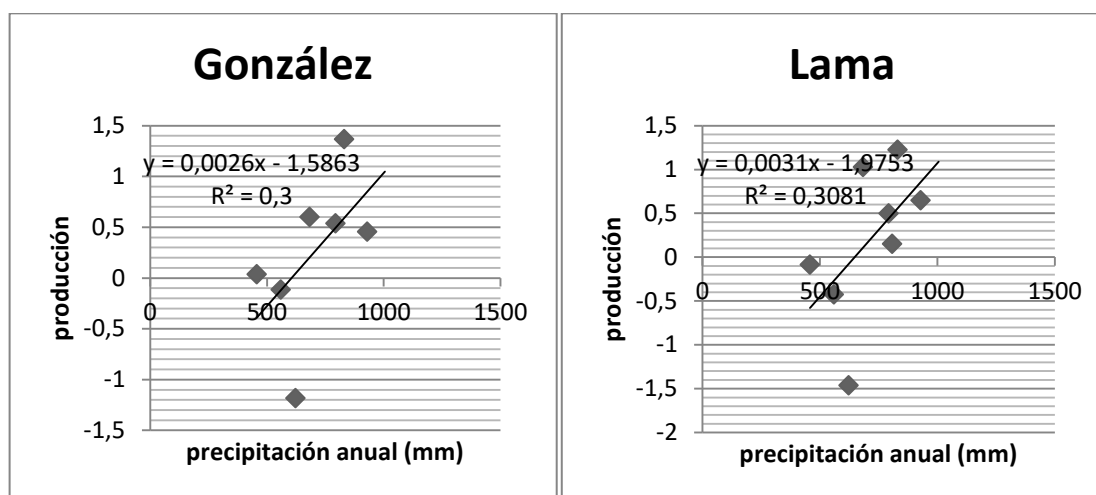


Figura 6. Regresión lineal entre la producción y el clima. Nótese la pendiente positiva en ambos sotos.

Debido a los resultados obtenidos en el apartado 1.2., que indican que las precipitaciones de mayo, junio y julio son las más influyentes en el crecimiento de los castaños, se hizo una nueva regresión con la suma de las precipitaciones de estos tres meses y la producción de ambas explotaciones. Dando como resultado una recta con pendiente negativa para cada uno de los sotos. La recta del soto de González tiene como fórmula $y = -0,0182x + 2,3182$ y la del soto perteneciente a Lama es $y = -0,0145x + 1,7821$. Esto indicaría que la producción es menor cuantas más lluvias se produzcan en este período (ver figura 7).

En este caso, el p-valor obtenido a partir del R-commander para cada uno de los sotos tampoco es significativo; siendo 0,1343 en el soto perteneciente a González y 0,24 en el soto de Lama.

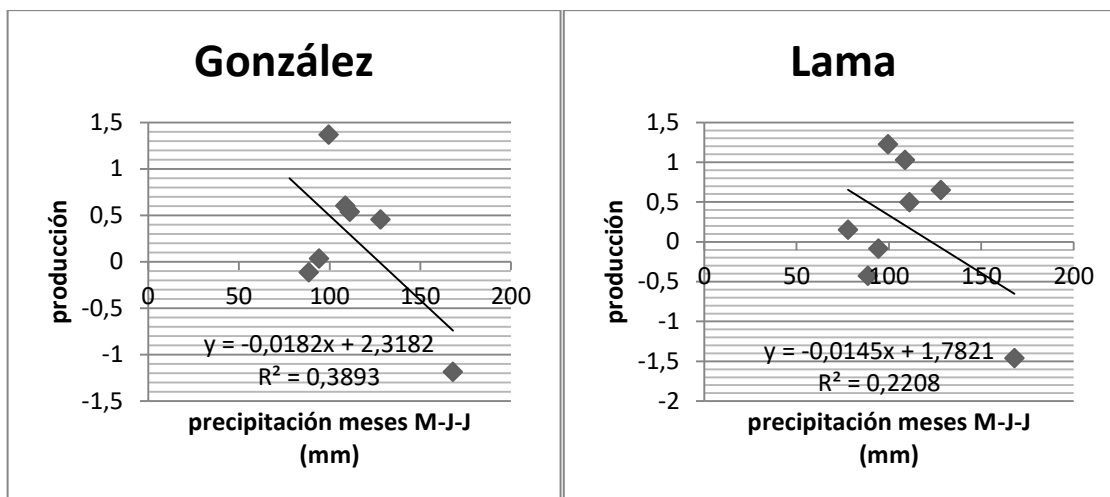


Figura 7. Regresión lineal entre las precipitaciones del principio de la estación de crecimiento y la producción. Destaca la pendiente negativa para ambos sotos.

En base a la falta de significancia de los análisis anteriores, también se analizó la relación entre la producción y las precipitaciones de final de verano y principio del otoño (agosto, septiembre y octubre), meses durante los que se está formado el fruto, para comprobar si el peso de la castaña se ve influenciado por estas lluvias. Como resultado se obtuvieron de nuevo dos rectas con un p-valor no significativo: para el primer soto la recta sería $y = 0,0089x - 1,1432$ y el p-valor = 0,305; y para el segundo $y = 0,0095x - 1,2358$, p-valor = 0,3074 (véase figura 8). Por lo tanto, no existe relación alguna.

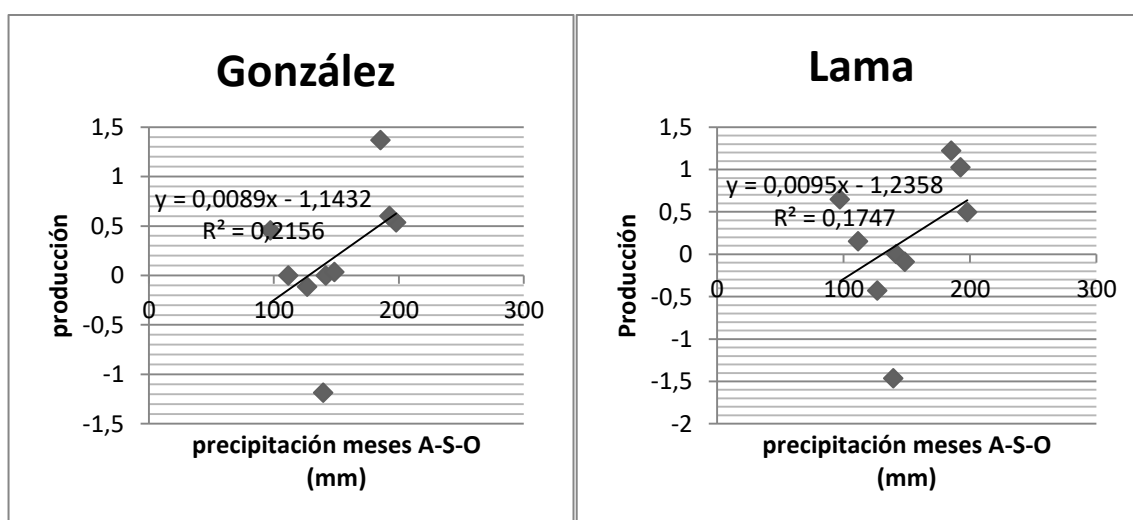


Figura 8. Regresión lineal entre la producción y la precipitación de los meses de agosto, septiembre y octubre.

Por último, se estudió la relación entre las precipitaciones del mes más seco (agosto) y la producción, obteniendo como recta para el soto de González $y = -0,0156x + 0,4198$ (ver figura 9), donde la relación sería inversa debido a su pendiente negativa, es decir, a menor cantidad de lluvias mayor cosecha. La recta para el soto 2 tiene como fórmula $y = -0,0154x + 0,4487$, también con una pendiente negativa (véase figura 9). El p-valor calculado mediante el software estadístico R-commander para el soto 1 es 0,02794 (significativo) y para el soto restante es 0,5511 (no significativo). Por lo tanto, existe una relación entre la producción del primer soto y las lluvias del mes de agosto.

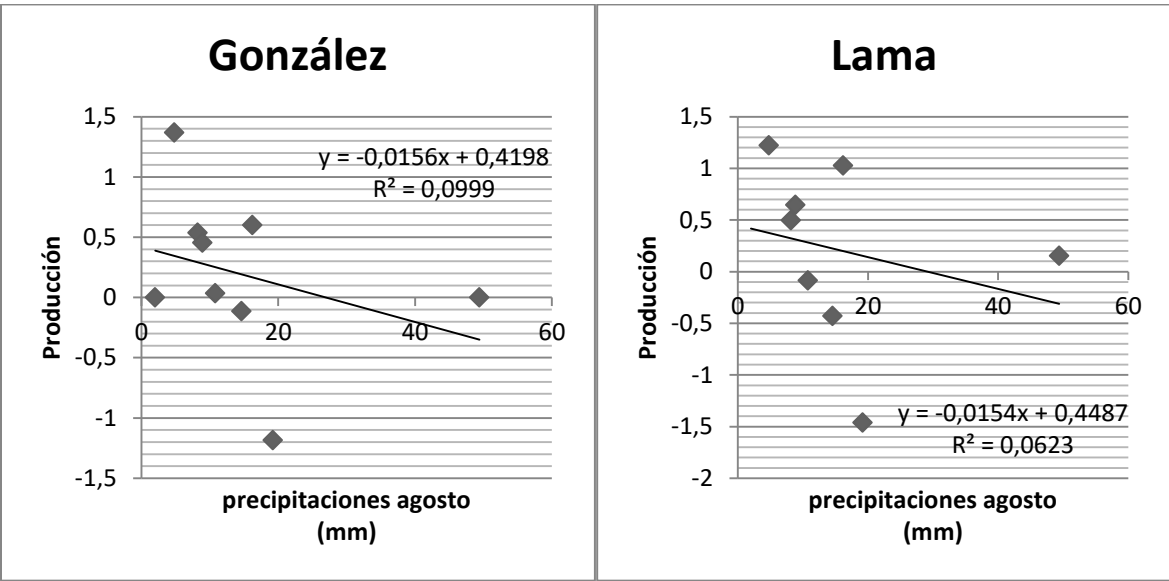


Figura 9. Regresión lineal entre la producción y las precipitaciones del mes de agosto. Nótese la pendiente negativa.

5. Discusión

En base a los resultados obtenidos, se puede decir que la variabilidad de crecimiento interanual de *Castanea sativa* Mill. en el área del Bierzo estudiada es reducida, es decir, que el ancho de los anillos de las series observadas no difiere en exceso. Estos bajos valores de sensibilidad (en torno a 0,2) probablemente se deban a que los sotos se encuentran en zonas donde el crecimiento del castaño se ve favorecido, protegidas y poco expuestas, por lo tanto los árboles se encuentran menos influidos por las oscilaciones climáticas.

Además, se ve una gran influencia del crecimiento del año previo en el crecimiento del año actual (autocorrelación en torno a 0,75). Se han encontrado relaciones similares en estudios realizados con castaños en Salamanca (Camisón et al., 2015) y en Suiza (Fonti y García, 2004) y también con otras especies de poro en anillo como *Quercus robur* o *Fraxinus nigra* (García y Eickstein, 2003). Concretamente, el estudio realizado por Camisón et al. (2015) revela que el ancho completo de anillo y la madera temprana dependen de la cantidad de madera tardía que se haya formado en el año previo. De esta forma, los factores que afectaron al crecimiento del año anterior estarán determinando de manera indirecta el del año actual, en tanto que las reservas acumuladas por el árbol durante el año previo limitarán el crecimiento del año siguiente. Esto se debe a que las especies de poro anillado comienzan la formación de los grandes vasos antes de que se produzcan las hojas y, por tanto, del comienzo de la actividad fotosintética. De esta manera, dependen de la acumulación de reservas del año anterior para formar la madera y poder reanudar su fotosíntesis (Fonti y García, 2004; Evert, 2008). Para otros autores la causa de esta relación se debería a que los precursores de las auxinas necesarias para la reactivación del cámbium tras la dormición invernal -y formación de nuevo leño- se acumulan durante la estación de crecimiento previa (García y Eickstein, 2003).

Si bien la correlación con la serie maestra es significativa (evidenciando la existencia de ciertos patrones de crecimiento que coinciden en muchos de los árboles estudiados) no es demasiado alta para que los ejemplares pertenezcan a explotaciones cuya longevidad y exposición a factores climáticos es similar. Esto puede deberse a lo citado anteriormente: los sotos se encuentran en zonas protegidas y poco expuestas, donde el crecimiento se ve favorecido y, por lo tanto, no habría un factor climático limitante puesto que allí las oscilaciones ambientales son débiles. Si esto es así, los árboles siguen unas tendencias de crecimiento endógenas e individuales, implicando bajas correlaciones entre los anchos de anillo de los distintos ejemplares (García et al., 2012).

En cuanto a la relación existente entre el clima y el crecimiento, el estudio desvela que, de entre las variables estudiadas, la única relacionada con el ancho de anillo es la precipitación. Es decir, en este lugar la sensibilidad a las temperaturas es escasa, al contrario de lo que se vio en un estudio previo realizado en la provincia de Salamanca (Camisón et al., 2016), donde no existe una limitación del crecimiento por las lluvias pero sí una dependencia de temperaturas mínimas cálidas desde octubre hasta abril y, también, septiembre. Probablemente, en esta zona no se encuentre relación con las temperaturas debido a que el clima es más suave que el propio de Salamanca; de tal manera que los otoños e inviernos del Macizo Galaico presentan unas temperaturas mínimas superiores a las existentes en la Sierra de Francia (Salamanca), concordando con las apetencias térmicas que caracterizan a la especie. En resumen, las temperaturas no resultan un factor limitante para el crecimiento del castaño en la zona del Bierzo.

Por otro lado, las precipitaciones resultan limitantes para el crecimiento anual de *C.sativa*; concretamente son las lluvias de mayo, junio y julio las que se relacionan con el ancho de anillo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en Suiza y Bulgaria (Fonti y García, 2004; Hreiðarsson, 2011). Así, se manifiesta que la especie requiere un aporte hídrico cuando comienza la estación de crecimiento y se forman los nuevos vasos conductores, desvelando sensibilidad al estrés hídrico estival. Por lo tanto, cuando las lluvias durante este período son escasas el árbol no podrá crecer en grosor de manera óptima; presentando un crecimiento mucho más destacable cuando los veranos son húmedos.

Esta diferencia en la respuesta de la especie dependiendo de la zona en la que se encuentre muestra la existencia de adaptaciones locales (Gea y Cañellas, 2014) o bien diferencias fenológicas en las distintas localizaciones debidas a las limitaciones ambientales que afectan a cada una de las zonas.

Los resultados referidos a la relación crecimiento-producción muestran que al existir un año óptimo para el crecimiento, reflejado en forma de anillo más ancho, también lo es para la producción, debido seguramente a una alta disponibilidad de recursos para distribuir entre una y otra funciones. Con el soto de González (soto 1) se encuentra una relación significativa; la recta tiene pendiente positiva indicando una relación directa. Por el contrario, el soto 2 deja una alta probabilidad a error (30%) lo que puede deberse a la imposibilidad de trabajar con mayor cantidad de datos de producción, de manera que los análisis estadísticos mejorarían para ambas series. Según el trabajo de Koenig et al. (1996) realizado con distintas especies de *Quercus*, incluso 16 años de

datos de producción parecen insuficientes para encontrar correlaciones; en este trabajo se cuenta únicamente con 8 años.

Por otro lado, al estudiar la correlación existente entre el clima (precipitación) y la producción se obtuvo el mismo resultado para ambos sotos: una recta con pendiente positiva pero no significativa. De esta forma, no se puede confirmar ninguna relación. A mayores, siguiendo los resultados obtenidos para el crecimiento, se investigó la existencia de relación entre las precipitaciones de mayo, junio y julio y la producción, donde las regresiones daban como resultado unas rectas con pendientes negativas. Esto se explicaría por un arrastre de polen traducido en una menor fertilización y consiguiente producción. Pero el resultado es no significativo. Además se buscó la posible influencia de las lluvias durante la época de desarrollo del fruto (final de verano, principio de otoño), para encontrar -de nuevo- una falta de relación. Debido a la escasa bibliografía relacionada con los castaños, se han revisado varios estudios que recogen las correlaciones existentes entre los factores climáticos y la producción de distintas especies de robles, en diferentes partes del mundo; mediante una compilación de muchos de ellos se puede concluir que hay gran diversidad de factores medioambientales relacionados con la producción de bellotas en todo el globo (Pérez-Ramos et al., 2010; Koenig et al., 2013). Entre estos destaca la influencia positiva de las primaveras templadas en la mayoría de robles estudiados y, también, de veranos húmedos para otras especies. En resumen, suele encontrarse relación con los factores que afectan a la floración o maduración del fruto (Koenig et al., 2013). Aunque, según otro estudio, las diferencias de producción en distintos lugares no puede explicarse mediante los factores medioambientales (Koenig et al., 1996).

Por último se realizó una regresión lineal entre la producción y las precipitaciones del mes más seco (agosto), encontrando una relación negativa para el primer soto. Así, cuando las lluvias durante el mes de agosto son elevadas la cosecha de castañas se reduce. Este resultado concuerda con un dicho popular de los agricultores de la zona que reza “*en agosto arder y en septiembre, beber*”, aunque sólo para su primera parte.

Para concluir, destacar la observación (citada anteriormente) de Koenig et al. (1996) que establecieron que los datos de producción de 16 años eran insuficientes para determinar las correlaciones con los factores climáticos. Teniendo en cuenta que este estudio sólo presenta los datos de 8 años, se explica la falta de significación para la mayoría de los análisis realizados.

6. Conclusión

El crecimiento del castaño en un año determinado se encuentra afectado de manera considerable por el producido en el año previo. Es decir, existe una influencia del crecimiento de un año determinado sobre el siguiente.

Además, se determinó que los sotos estudiados se encuentran poco afectados por las oscilaciones climáticas ya que la variabilidad interanual de su ancho de anillos y, también, la correlación con la serie maestra son reducidas, indicando que el crecimiento depende más de los factores endógenos individuales.

En cuanto al estudio de las relaciones climáticas, la temperatura no produce ningún efecto significativo sobre el crecimiento de la especie estudiada en esta zona. Por otro lado, las precipitaciones anuales ejercen una gran importancia sobre la especie *Castanea sativa* Mill., afectando positivamente al ancho de anillo. Para concretar, son las lluvias producidas en los meses de mayo, junio y julio las que favorecen el crecimiento en grosor de estos árboles. Estos resultados evidencian la sensibilidad del castaño al estrés hídrico estival, necesitando un aporte de agua durante la estación de crecimiento.

Por otro lado, se esclareció que un año óptimo para el crecimiento secundario también lo será para la producción, existiendo entre ambas una relación positiva. De esta manera, la relación entre el crecimiento y la cantidad de fruto será directamente proporcional, aumentando la cosecha aquellos años en los que el crecimiento es óptimo.

Para finalizar, la correlación entre los factores climáticos y la producción de castaña no queda esclarecida completamente con este estudio debido a que los datos de cosecha resultan insuficientes. Sin embargo, se ha podido encontrar una correlación negativa entre las lluvias generadas en agosto y la cantidad de castaña.

7. Bibliografía

- Álvarez Álvarez, P., Barrio, M., Castedo, F., Díaz Varela, R. a., Fernández, J., Mansilla, P., ... Salinero, M. (2000). *Manual de selvicultura del castaño en Galicia*.
- Alonso Peña, J. R. (2011). *Manual de Histología vegetal*.
- Camisón Caballero, A., Silla Cortés, F. & Camarero Martínez, J. (2015). Dendroclimatología de tres especies forestales de la Peña de Francia-Quilamas (Salamanca): *Quercus pyrenaica* Willd., *Castanea sativa* Mill., & *Pinus pinaster* Ait.
- Camisón Á., Silla, F., & Camarero, J. J. (2016). Influences of the atmospheric patterns on unstable climate-growth associations of western Mediterranean forests. *Dendrochronologia*, 40, 130–142. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.09.004>
- Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W., Pradella, M., & Torriani, D. (2004). The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Vegetation, History and Archaeobotany*, 13(3), 161–179. <https://doi.org/10.1007/s00334-004-0038-7>
- Cook E. & Kairiukstis L. (1990). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Ed: Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Cook E. & Peters K. (1981). The smoothing spline: a new approach to standarizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin Vol. 41*.
- Evert, R. F.(2008). *Esau Anatomía Vegetal*.
- Fineschi S., Turchini D., Villain F. & Vendramin G. G. (2000). Chloroplast DNA polymorphism reveals little geographical structure in *Castanea sativa* Mill. (Fagaceae) throughout southern European countries. *Molecular ecology* 9: 1495–1503.
- Fonti, P., Cherubini, P., Rigling, a, Weber, P., & Biging, G. (2006). Tree rings show competition dynamics in abandoned *Castanea sativa* coppices after land-use changes. *Journal of Vegetation Science*, 17(1), 103–112. [https://doi.org/10.1658/1100-9233\(2006\)017\[0103:TRSCDI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1658/1100-9233(2006)017[0103:TRSCDI]2.0.CO;2)
- Fonti P. & García-González I. (2004). Suitability of chestnut earlywood vessel chronologies for ecological studies. *New Phytologist* 163: 77–86
- Fritts H. C. (1971). Dendroclimatology and dendroecology. *Quaternary Research* 1: 419-449.
- Fritts, H.C. (2001). *Tree Rings and Climate*. Blackburn Press, Cadwell, Estados Unidos.
- García-Cervigón Ana I., Olano J.M., Gozalbo M.E. Camarero J.J. (2012). Arboreal and prostrate conifers coexisting in Mediterranean high mountains differ in their climatic responses. *Dendrochronologia* 30: 279-286.
- García-González I. & Eckstein D. (2003). Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. *Tree Physiology* 23: 497-504.
- Gea-Izquierdo G. & Canellas I. (2014). Local climate forces instability in long-term productivity of a mediterranean oak along climatic gradients. *Ecosystems* 17: 228-241

- Gutierrez, E. (2008). La dendrocronología: métodos y aplicaciones. *Arqueología Nautica Mediterrània*, 6(May), 303–315.
- Hreiðarsson S. (2011). Tree-ring studies of Chestnut (*Castanea sativa*) in the Belasitsa Mountain in southern Bulgaria. Tesis de Licenciatura. No publicado. Agricultural University of Iceland. Faculty of Environmental Sciences.
- Holmes R. (1983). Computer Assisted Quality Control in Tree-Ring Dating and Measurement. *Tree-Ring Bulletin Vol. 44*: 69-75.
- Huntley, B., & Birks, H. J. B. (1983). *An Atlas of past and present Pollen maps for Europe: 0–13,000 years ago*. Cambridge: CUP.
- Jarman, R., Moir, A. K., Webb, J., & Chambers, F. M. (2017). Sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in Britain: its dendrochronological potential. *Arboricultural Journal*, 39(2), 100–124. <https://doi.org/10.1080/03071375.2017.1339478>
- Koenig, W. D., & Knops, J. M. H. (2013). Environmental correlates of acorn production by four species of Minnesota oaks. *Population Ecology*, 56(1), 63–71. <https://doi.org/10.1007/s10144-013-0408-z>
- Koenig, W. D., Knops, J. M. H., Carmen, W. J., Stanback, M. T., & Mumme, R. L. (1996). Acorn production by oaks in central coastal California: influence of weather at three levels. *Canadian Journal of Forest Research*, 26(9), 1677–1683. <https://doi.org/10.1139/x26-189>
- Krebs, P., Conedera, M., Pradella, M., Torriani, D., Felber, M., & Tinner, W. (2004). Quaternary refugia of the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.): An extended palynological approach. *Vegetation History and Archaeobotany*, 13(3), 145–160. <https://doi.org/10.1007/s00334-004-0041-z>
- Kuniholm, P. I. (2001). Dendrochronology and other applications of tree-ring studies in archaeology. *Handbook of Archaeological Sciences*, (January 2001), 1–11.
- Lebourgeois, F., & Merian, P. (2012). Principes Et Méthodes De La Dendrochronologie Lebourgeois, (May 2014), 89.
- Mattioni, C., Angela Martin, M., Pollegioni, P., Cherubini, M., & Villani, F. (2013). Microsatellite markers reveal a strong geographical structure in European populations of *Castanea sativa* (Fagaceae): Evidence for multiple glacial refugia. *American Journal of Botany*, 100(5), 951–961. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200194>
- Mendivelso, H. A., Camarero, J. J., & Gutiérrez, E. (2016). Dendrochronology in Neotropical dry forests: methods, advances and applications. *Ecosistemas*, 25(2), 66–75. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>
- Pérez Antelo A. (1993). Análisis de una cronología de *Castanea sativa* Mill. obtenida en la finca de Val de Fernando (Lalín, Pontevedra). Comparación con otras cronologías gallegas de *Quercus* sp. *Congreso Forestal Español 1993. Ponencias y Comunicaciones. Tomo I*.
- Pérez-Ramos IM, Ourcival JM, Limousin JM, Rambal S (2010) Mast seeding under increasing drought: results from a long-term data set and from a rainfall exclusion experiment. *Ecology*. 91:3057–3068
- Romagnoli, M., Nocetti, M., Sarlatto, M., & Evangelistella, L. (2004). Dendrochronological assessment of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) for dating purposes in Central Italy. *Dendrochronologia*, 21(3), 117–130. <https://doi.org/10.1078/1125.7865.00048>
- Speer, B. J. H. (2009). Fundamentals of Tree-Ring Research, 509. <https://doi.org/10.1002/gea.20357>

