

DENDROCLIMATOLOGÍA DE LOS ENCINARES DEL PARQUE NATURAL DEL MONTNEGRE Y EL CORREDOR EN BARCELONA

Marina C. Rincón Madroño

Vº Bº de los directores

Alfonso San Miguel Ayanz

Isabel Dorado Liñán

Mariola Sánchez González

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE MONTES, FORESTAL Y DEL
MEDIO NATURAL

Julio 2017

© UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2017. Todos los derechos reservados.

HOJA DE CALIFICACIÓN DEL TRABAJO/PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO
Dendroclimatología de los encinares del Parque Natural del Montnegre y el Corredor en Barcelona
AUTOR
Marina Carmen Rincón Madroñero
GRADO EN
Ingeniería del Medio Natural

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Presidente/a: _____

Vocal: _____

Secretario/a: _____

Reunido el Tribunal de calificación con fecha _____. Acuerda otorgar la CALIFICACIÓN GLOBAL de _____

Indicar, en su caso, si se propone la concesión de la mención Matrícula de Honor

PRESIDENTE	SECRETARIO	VOCAL
Fdo:	Fdo:	Fdo:

Informe explicativo de la calificación: _____

Título: Dendroclimatología de los encinares del Parque Natural del Montnegre y el Corredor en Barcelona

Autor: Marina C. Rincón Madroñero

Director: Alfonso San Miguel Ayanz

Codirectoras: Isabel Dorado Liñán y Mariola Sánchez González

Departamento: Sistemas y Recursos Naturales

RESUMEN

En el presente trabajo se ha llevado a cabo el estudio de la influencia del clima en el crecimiento secundario de las masas de encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor, Barcelona. Se enmarca en un convenio de colaboración ente el INIA y la Diputación de Barcelona. La finalidad de este convenio es conocer el comportamiento de las masas del Parque para poder gestionarlas de forma adecuada, dado que los encinares de esta zona presentan la singularidad de ser gestionados como masas irregulares, a diferencia de los del resto de la Península Ibérica.

La metodología utilizada para establecer las relaciones entre el clima y el crecimiento ha sido el análisis por correlaciones simples. Para ello se ha generado una cronología o serie media que cubre un periodo de 44 años (1967-2011) a partir de 19 rodajas cortadas a la altura del diámetro normal. Las muestras provienen de los árboles dominantes de parcelas de 10 metros de radio distribuidas a lo largo de toda el área de estudio. Una vez seleccionadas las muestras se procedió a su datación, sincronización y estandarización. Finalmente, se determinó el crecimiento medio por año en una cronología o serie media representativa de toda la masa. Se establecieron las correlaciones mensuales y estacionales entre los crecimientos medios anuales de dicha cronología y las dos variables climáticas que se consideraron las más relevantes: precipitación y temperatura. Para ellos se utilizó un paquete del software libre R, pdlR, en la elaboración de la cronología y Microsoft Excel para hallar las correlaciones.

Los resultados muestran que la temperatura no resulta determinante en el crecimiento de las encinas analizadas en el área de estudio. Sin embargo, si se han establecido correlaciones para la precipitación. Se dan valores significativos positivos para los meses de septiembre y octubre del año anterior al crecimiento, así como para la precipitación acumulada de los grupos de meses que los contienen, siendo la combinación de la precipitación acumulada en los meses de agosto-septiembre-octubre para el año anterior al crecimiento la más significativa (0,45). Esto se debe a la capacidad de *Quercus ilex* para acceder a niveles freáticos profundos debido a la longitud de sus raíces. Por otro lado la precipitación de junio-julio-agosto-septiembre del año de crecimiento tiene una correlación significativa negativa con el crecimiento (-0,33), a causa de las precipitaciones torrenciales que se dan durante el verano, conocidas como gota fría.

Los resultados muestran que los encinares del área de estudio son bastante sensibles a la los cambios en el régimen de precipitaciones. Según las predicciones sobre la evolución del cambio climático, se producirá una disminución de las precipitaciones, así como un aumento de los eventos extremos. Estos cambios podrían afectar negativamente a las encinas del área de estudio, elevando la tasa de mortalidad. Por ello, este trabajo puede suponer una buena base para iniciar un estudio de medidas de gestión necesarias para mitigar los efectos adversos de este fenómeno.

ABSTRACT

Dendroclimatology of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) in the Natural Park of Montnegre and Corredor in Barcelona has been studied in relation to local climate. This research has been developed under a collaboration agreement between INIA and la Diputació de Barcelona to learn about the holm oak forest behavior and create an adequate management plan to improve the forest stability.

Simple correlations have been used to establish the relationship between average holm oak growth and climate in the study area. The resulting chronology covers 44 years (1967-2011) by using 19 samples which represent the whole forest. Once the samples were finally measured, they were crossdated, synchronized and standardized. Finally, correlations between growth and climate were made to determine how monthly and seasonal temperature and precipitation affect holm oak growth. dplR package from free software R was used to create the chronology. Microsoft Excel was used to establish climate and growth correlations

The results show that temperature has no influence on holm oak growth in the study area, while correlations between precipitation and growth were determined. Positive significant values are shown in August-September-October from the previous year (0.45) while negative values were shown in June-July-August and September from the current year (-0.33). The reason why precipitation in the end of summer and the beginning of autumn from the previous year is beneficial is because holm oak roots can reach deep phreatic levels. However, the effect of precipitation in summer and the beginning of autumn of the current year is negative because of a phenomenon named “gota fría”, which cause torrential precipitations and damage the vegetation.

The results show that holm oak in the study area is very sensitive to precipitation regime change. According to the predictions of Climate Change evolution, precipitations will reduce and extreme episodes will be more frequent. This could affect holm oaks from the study area negatively by incrementing the mortality rate. For this reason, this study could be a good base to investigate about management tools to reduce the adverse effects of this phenomenon.

A Isabel Dorado y a Mariola Sánchez por guiarme a lo largo de todo este proceso. Gracias a vosotras he aprendido mucho con este proyecto.

A la Diputación de Barcelona y al INIA por hacer posible la realización de este proyecto.

A Alfonso San Miguel tanto por su ayuda en este trabajo como por su labor como profesor. Para mí eres una de esas personas que hacen que la educación universitaria merezca la pena.

A mis padres a Blanca y a Fer por su apoyo y cariño, en especial durante estos últimos meses.

A Cris y a todos los que me han ayudado, ya sea directa o indirectamente en la realización del proyecto.

A todas las personas que significan y han significado algo para mí y sin las cuales estos años no hubiesen sido lo mismo. He aprendido mucho y no solo a nivel académico sino a todos los niveles.

Gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción	8
1.1. El cambio climático y los bosques	8
1.2. Dendrocronología y dendroclimatología.....	10
2. Planteamiento del problema	13
3. Objetivos	14
3.1. Generales.....	14
3.2. Específicos	14
4. Materiales y métodos	15
4.1. Materiales.....	15
4.1.1. Área de estudio: Parque Natural del Montnegre y el Corredor	15
4.1.2. Especie objeto del estudio: <i>Quercus ilex subsp. ilex</i>	21
4.2. Métodos.....	22
4.2.1. Diseño de las parcelas	22
4.2.2. Toma de datos	23
4.2.3. Tratamiento de los datos	23
5. Resultados y discusión	27
5.1. Resultados	27
5.1.1. Crecimiento de la masa	27
5.1.2. Correlaciones mensuales y estacionales entre el crecimiento y el clima	28
5.2. Discusión.....	31
6. Conclusiones	35
7. Referencias bibliográficas	36

ANEXOS

ANEXO 1. Caracterización climática del área de estudio

ANEXO 2. Características de las series individuales utilizadas para crear la cronología básica

ANEXO 3. Valores de correlación por agrupaciones de meses

ANEXO 4. Informe técnico del estudio

ANEXO 5. Póster

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Valores característicos del balance hídrico en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor.	17
Tabla 4.3. Formaciones de vegetación presentes en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor	19
Tabla 4.4. Usos permitidos en función de la zonificación del Parque Natural del Montnegre y el Corredor.	20
Tabla 5.1. Tabla representativa de los parámetros estadísticos de los valores de crecimiento de las encinas (<i>Q. ilex</i> subsp. <i>ilex</i>) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor agrupadas en décadas para el periodo significativo (1967-2011).	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. (a) Mapa de los cambios observados en la temperatura en superficie entre 1901 y 2012, (b) mapa de los cambios observados en la precipitación entre 1951 y 2010, (c) extensión del hielo marino entre 1900 y 2010 y (d) nivel medio global del mar, entre 1900 y 2010	8
Figura 1.2. Ejemplo de una muestra en la que se puede apreciar la diferencia del color y del tamaño de los elementos vasos en la madera temprana y la madera tardía.	10
Figura 4.1. Localización del área de estudio.	15
Figura 4.2. Climodiagrama del Parque Natural del Montnegre y el Corredor	16
Figura 4.3. Mapa litológico del Parque Natural del Montnegre y el Corredor.	17
Figura 4.4. Mapa de Zonas Edáficamente Homogéneas del Parque Natural del Montnegre y el Corredor.	18
Figura 4.5. Mapa de localización de las 19 parcelas utilizadas para el estudio dendroclimatológico.	22
Figura 4.6. Representación de la cronología de crecimiento medio de la masa de encinas (<i>Q. ilex</i> subsp. <i>ilex</i>) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor en función del incremento del radio en $\text{cm}^2/\text{año}$ y de su tendencia de crecimiento en el periodo 1935-2011.	24
Figura 4.7. Fases de crecimiento secundario en la vida de una masa.	25
Figura 5.1. Representación de la cronología de crecimiento medio de la masa de encinas (<i>Q. ilex</i> subsp. <i>ilex</i>) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor en función del incremento del área basimétrica en $\text{cm}^2/\text{año}$ en el periodo 1935-2011.	27
Figura 5.2. Correlación mensual entre la cronología de crecimiento y las series instrumentales de precipitación y temperatura para el año anterior al crecimiento representado en mayúsculas (t-1) y el año de crecimiento representado en minúsculas (t). En el eje de abscisas se representan los meses desde junio del año anterior al crecimiento hasta septiembre del año de crecimiento y en el eje de ordenadas se representan los valores de correlación.	29
Figura 5.3. Correlación mensual entre la cronología de crecimiento y las series instrumentales de precipitación acumulada y la temperatura media agrupada en (a) dos meses, (b) tres meses y (c) cuatro meses. En el eje de abscisas se representan las agrupaciones de meses del año anterior al crecimiento representado en mayúsculas (t-1) y el año de crecimiento representado en minúsculas (t), y en el eje de ordenadas se representan los valores de correlación.	30
Figura 5.4. Representación de la precipitación mensual de los años anteriores a los máximos de crecimiento entre el periodo de 1967 y 2011.	33

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El cambio climático y los bosques

El cambio climático

El cambio climático es uno de los problemas más graves de la actualidad a escala global. No es la primera vez en la historia de la Tierra que tiene lugar un cambio en el clima que se extiende a la totalidad del planeta; sin embargo, la velocidad a la que se suceden los cambios hoy en día es demasiado rápida para que el medio pueda adaptarse. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático o IPCC (2014) considera con un 95% de certeza que la causa principal de este fenómeno es la actividad humana. El consumo de energía y los residuos producidos por el ser humano no son asumibles por el entorno y comprometen el equilibrio del planeta. Si persisten las perturbaciones provocadas por esta actividad humana sobre el clima se elevará el riesgo de impactos graves, generalizados e irreversibles.

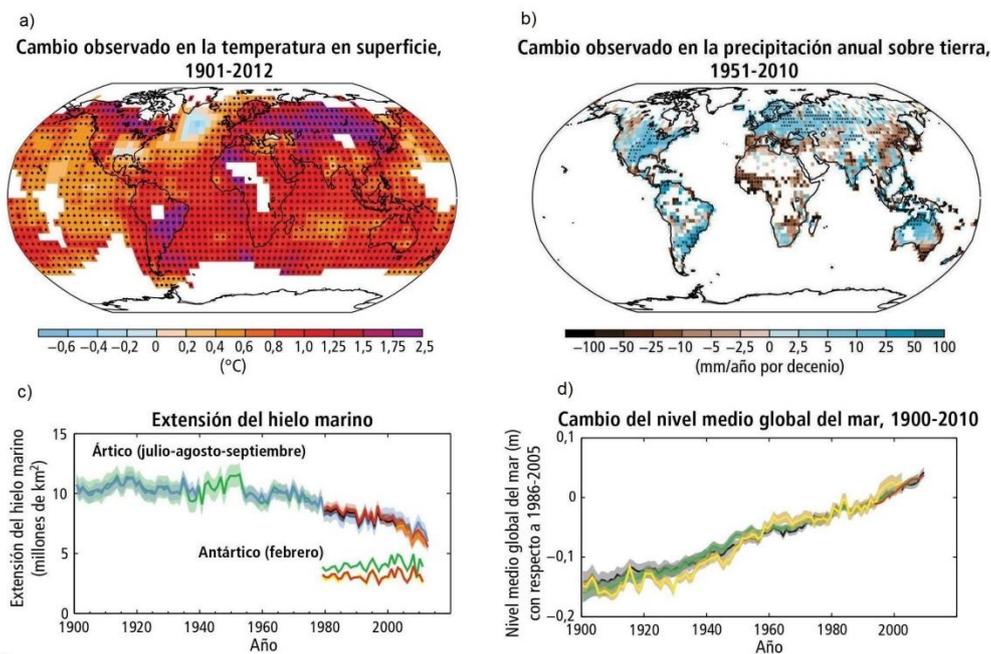


Figura 1.1. (a) Mapa de los cambios observados en la temperatura en superficie entre 1901 y 2012, (b) mapa de los cambios observados en la precipitación entre 1951 y 2010, (c) extensión del hielo marino entre 1900 y 2010 y (d) nivel medio global del mar, entre 1900 y 2010

Fuente: IPCC (2014)

Desde la época preindustrial, como se puede observar en la figura 1.1, se han documentado numerosos datos que confirman que en las últimas décadas, a escala global, ha aumentado la temperatura atmosférica y oceánica, ha disminuido el volumen de nieve y hielo y se ha elevado el nivel medio del mar (IPCC, 2014). Las predicciones del IPCC señalan que la temperatura subirá de 1,1 a 2,6 °C basándose en el escenario más optimista y de 2,6 a 4,8 °C en el más pesimista. Se producirán cambios en el régimen de precipitaciones y en su distribución a lo largo del año con una reducción estimada del 20%. Esta situación agravará los riesgos existentes y creará otros nuevos tanto para los sistemas naturales como para los humanos. Sobre todo resultarán afectados los sistemas más vulnerables y menos resilientes. Esto se traducirá en consecuencias como aumento del riesgo de extinción de especies, pérdida de ecosistemas marinos y terrestres, escasez de agua y alimento, propagación de enfermedades e incremento de episodios meteorológicos extremos.

Los bosques españoles y su conservación

Los bosques son un importante ecosistema de elevado valor por cumplir gran variedad de funciones tanto ecológicas como socioeconómicas. Debido a su elevada diversidad, aunque se vean afectados por el cambio climático, pueden ser clave como parte de la solución al mismo (Fernández-González, Loidi & Moreno, 2005), en especial los ecosistemas limitados por factores extremos como es el caso de los bosques mediterráneos, entre los cuales están los bosques españoles.

Desde hace miles de años, los bosques mediterráneos se han visto afectados por eventos climáticos extremos dando lugar a una selección natural y antrópica que genera una gran biodiversidad que los hace idóneos en la adaptación al cambio climático (Arroyo et al., 2004). Esta diversidad hace que la cuenca del Mediterráneo esté considerada punto caliente o hotspot de biodiversidad de Mayers (1990). Alberga aproximadamente 25.000 especies de flora de las cuales en torno a un 60% son endémicas (Cuttelod et al., 2008) lo cual supone otro motivo de interés para su conservación. A pesar de ello, los bosques mediterráneos están muy expuestos al cambio climático y se enfrentan a riesgos como la falta de recursos hídricos, cambios en las propiedades biofísicas del suelo (como la humedad edáfica), aumento de la desertificación, incremento de la frecuencia e intensidad de los incendios forestales e introducción de plagas invasoras (FAO, 2011).

Según los datos del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3), la superficie forestal de España ha aumentado a costa de una disminución del desarbolado y cultivo debido al abandono de las prácticas agrícolas y forestales tradicionales (www.mapama.gob.es). A pesar de ello, los bosques españoles han sufrido lo que se conoce como decaimiento forestal: adelanto en la foliación y retraso de la caída de las hojas, defoliaciones, reducciones en el crecimiento, aumentos en la mortalidad y desplazamientos altitudinales en especies vegetales leñosas (Brasier, 1996; Navarro, 2011; Natalini et al., 2016). Aún no se sabe con certeza cómo y cuánto afecta el cambio climático a los bosques mediterráneos ya que, aunque la causa principal más plausible es el cambio climático, hay otras causas que explican este decaimiento. Por ello es necesario incrementar la investigación sobre estos fenómenos. Esta investigación debe estar vinculada a la gestión forestal (www.congresoforestal.es/index.php?men=400) para lograr ecosistemas más equilibrados y con mayor diversidad que sean capaces de responder a los efectos del cambio climático o cualquier otra fuente de impactos.

Con el fin de conservar el medio natural se han creado diferentes figuras de protección que tratan de impedir su degradación a escala mundial, europea, nacional y regional. En el caso concreto de España, aproximadamente el 28% de su superficie está bajo algún régimen de protección, ya sea por la Red Natura 2000, por ser Espacio Natural Protegido o por ambas figuras. La superficie forestal española supone un 77,72% de los Espacios Naturales Protegidos y un 75,67% de la Red Natura, es decir, más del 50% de la superficie forestal española está bajo algún régimen de protección que condiciona su gestión (www.mapama.gob.es/). Una de las labores para una gestión sostenible de estos espacios es la elaboración de un sistema de seguimiento que permita monitorizar los cambios que se produzcan permitiendo que se tomen decisiones basadas en la mejor información científica. La dendroclimatología, como se detalla en los apartados siguientes, es una fuente de información sobre el clima y sus efectos en el pasado y presente, además de predecir cambios futuros. Proporciona datos con una extensión y resolución temporal inalcanzable por técnicas de monitorización y puede servir como un sistema de seguimiento bastante fiable de las masas forestales (Dorado Liñan et al., 2012).

1.2. Dendrocronología y dendroclimatología

Definición, importancia y usos

Para entender qué es la dendroclimatología antes hay que definir la dendrocronología. Se trata de una ciencia que se encarga de la datación y estudio del crecimiento de los anillos de especies arbóreas y arbustivas (Fritts, 1976). Se utiliza para resolver problemas de carácter climático, ecológico y cultural. Por ello deriva en otras ramas del conocimiento más específicas, como la dendroecología, la dendrohidrología, la dendroarqueología y por supuesto la dendroclimatología. Esta última se refiere a la investigación dendrocronológica de los climas pasados y presentes (Fritts, 1976). Permite asociar variables climáticas a cambios en el crecimiento de un árbol para conocer cómo influyen en su desarrollo.

Los datos proporcionados por los anillos de crecimiento son una buena fuente de información paleoclimática (Barriendos, 2000). Generan registros permanentes, periódicos y continuos de forma sencilla que permiten pronosticar problemas ecológicos, como el cambio climático y las consecuencias de la desertificación (Meko et al., 1995; Le Houérou, 1996; Puigdefábregas and Mendizábal, 1998; Touchan and Hughes, 1999; Patón et al., 2009), en escalas que van desde pocas hectáreas hasta un hemisferio, desde estacionales a centenales (Cook and Kairiukstis 1990).

Formación de los anillos de crecimiento

Los anillos de crecimiento de un árbol se forman cada año de tal forma que los más cercanos al centro del árbol (médula) son los primeros que se formaron y los más alejados los últimos. Se trata de capas de células que se generan durante el periodo vegetativo a partir del cámbium vascular. Éste es un tejido meristemático lateral o secundario, es decir, es un tejido cuya función es el crecimiento en grosor de las especies vegetales leñosas. Está situado entre la corteza y el xilema y es el responsable de la formación de células de los tejidos conductores (xilema y floema). En cada anillo se pueden distinguir dos zonas diferenciadas, una clara y otra oscura. La zona clara es la madera temprana o de primavera en la que las células son de paredes delgadas, mientras que la zona oscura es la madera tardía formada durante el verano y el otoño, cuyas células tienen las paredes más gruesas y forman un tejido más denso (Wilson y White, 1986).



Figura 1.2. Ejemplo de una muestra en la que se puede apreciar la diferencia del color y del tamaño de los elementos vasos en la madera temprana y la madera tardía.

Fuente: elaboración propia.

En la madera de frondosas aparecen elementos vaso, cuya función es la de conducir la savia de las raíces a los elementos aéreos. Los vasos de madera temprana tienen un diámetro mayor que los de la madera tardía puesto que durante el otoño y el verano corren el riesgo de cavitación debido al déficit hídrico: los vasos se colapsan e impiden que la savia fluya, por lo que el árbol muere. Esta variación del tamaño de los vasos entre la madera temprana y tardía, al igual que el cambio de color, ayuda en la diferenciación entre unos anillos y otros. La encina (*Quercus ilex* L.) genera una madera semiporosa, un caso intermedio entre la de madera de poro difuso (con vasos de tamaño similar en la madera temprana y tardía) y la madera de anillo poroso (con vasos de gran tamaño en la madera temprana y de pequeño tamaño en la tardía) que se caracteriza por tener una disminución gradual de los vasos (figura 1.2).

Limitaciones de la dendroclimatología

Algunas veces la identificación de los anillos se complica a causa de dobles o falsos anillos y de anillos ausentes. Se tratan de anomalías en el crecimiento que se producen por factores limitantes externos durante el periodo vegetativo, como incendios, plagas, contaminación o acción directa del ser humano (Norton et al., 1990) o, en el caso de los anillos ausentes, de forma natural en árboles de avanzada edad. Los dobles anillos están formados por células pequeñas de paredes gruesas características de la madera tardía. Cuando vuelven las condiciones idóneas para el crecimiento, se forman células más grandes de paredes finas y se generan fluctuaciones de densidad que se asemejan a dos o más anillos distintos, que en realidad se corresponden con el crecimiento de un único año. Los anillos ausentes se forman por un cese en la actividad cambial por condiciones limitantes externas o por la edad del árbol. Para poder datar estos anillos correctamente es necesario realizar una datación cruzada o cross-dating que se explicará más adelante en el apartado 4.2.3 de tratamiento de datos.

Los casos en que los anillos de crecimiento se distinguen con mayor facilidad son los de las especies caducifolias situadas en zonas de estacionalidad marcada. Sin embargo, para las especies perennifolias o que se sitúan en zonas en las que el clima es relativamente constante, como por ejemplo en los trópicos, los límites de los anillos no están bien definidos y son difíciles de medir (Fritts & Swetnam, 1989). La encina, como árbol esclerófilo y perennifolio, adaptado a las precipitaciones irregulares y cambiantes del clima mediterráneo, es un claro ejemplo de madera dura con crecimientos irregulares y poco claros, que además genera gran cantidad de dobles anillos y anillos ausentes. Sin embargo, la encina es una de las especies dominantes de la superficie forestal española, por lo que conocer sus patrones de crecimiento podría resultar de gran interés a la hora de la conservación del territorio forestal nacional.

No toda la variabilidad en el ancho de los anillos se genera por las variaciones climáticas. Según (Huges, 2002), la reconstrucción climática basada en los anillos de crecimiento captura como máximo un 60% de la varianza de la variable climática elegida. Por otra parte, la dendroclimatología, al igual que la dendrocronología, se basa en el principio del uniformismo y del actualismo de Hutton (Fritts, 1976) que establece que “los procesos que han ocurrido a lo largo de la historia de la Tierra han sido uniformes y semejantes a los actuales”. Sin embargo, esta afirmación podría no ser correcta.

Antecedentes

Las primeras investigaciones en el campo de la dendrocronología fueron realizadas por el norteamericano A. E. Douglass en 1929 con sus estudios sobre el efecto de las manchas solares en el crecimiento de los árboles. El primer estudio dendroclimático fue realizado en América del Sur por Fisher y Krebs en 1931 con el análisis de la influencia de la precipitación en el caldén (*Prosopis caldenia* Burkart).

En España la dendrocronología se inicia en 1976 con los estudios de Creus y Puigdefabregas sobre pino negro (*Pinus uncinata* Ramond). Desde este momento se han desarrollado varios estudios que han dado lugar a un conjunto de cronologías a partir de muestreos bastante distribuidos por la Península Ibérica. De los primeros estudios realizados en España destacan los trabajos de E. Gutiérrez Merino (1987, 1989, etc.) y R. Génova Fernández (1987) en Cataluña; A. Pérez (1993) y Creus-Beorlegui (1994) en Galicia; M. Génova Fuster (1994) en el Sistema Central y la Serranía de Cuenca y J. Creus (1976) en el norte y sur de España, por ser las cronologías resultantes las más largas y que mejor se sincronizan entre sí (Barriendos, 2000).

Los estudios dendrocronológicos realizados en la Península Ibérica se realizaron principalmente sobre coníferas (Génova, 1994) y, en menor medida, sobre robles (Rozas, 2005). Estos estudios se han enfocado en múltiples líneas de investigación. Para el estudio del declive de las masas forestales (Schweingruber, 1996), para encontrar relaciones entre los procesos de mortalidad y factores externos (Pedersen, 1998; Camarero et al., 2003; Bigler et al., 2006; Natalini et al., 2016) y para estimar el incremento del área basimétrica como indicador de la productividad forestal (Piovesan et al., 2008; Di Filippo et al., 2010; Gea-Izquierdo et al., 2014). Las series o cronologías también pueden utilizarse a escala local para predecir el comportamiento de masas forestales concretas, y conocer su comportamiento para llevar a cabo una gestión adecuada.

La encina ha sido objeto de pocos estudios dendrocronológicos ante la dificultad que ofrece para crear cronologías a causa de su complicada anatomía (Cherubini et al., 2003; Gea-Izquierdo et al., 2009). A pesar de ello, el estudio de esta especie presenta un enorme potencial dendrocronológico debido a su amplia distribución, desde Marruecos hasta Francia, extendiéndose por toda la cuenca del Mediterráneo (Campelo et al., 2007; Nabais et al., 1998–1999; Zhang and Romane, 1991; Gea Izquierdo et al., 2009). En los últimos años, se han ampliado los estudios sobre la encina, tanto para la subespecie *ilex* (Cherubini et al., 2003; Zhang and Romane, 1991) como para la subespecie *ballota* (Rodá et al., 1999). Estos trabajos han demostrado la elevada sensibilidad de *Q. ilex* al clima, lo que justifica su uso para estudios dendroecológicos y dendroclimáticos (Natalini et al., 2016).

Hoy en día los estudios dendrocronológicos de la Península Ibérica cubren muchas especies vegetales, así como una gran superficie forestal, dando lugar a una amplia variedad de datos que permiten conocer de forma bastante precisa el clima pasado. Sin embargo, es conveniente ampliar el conocimiento (Serre-Bachet et al., 1992; Glueck and Stockton, 2001; García-Herrera et al., 2007; Patón et al., 2009) dado que la información sobre *Q. ilex* es aún escasa (Patón et al., 2009). En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio dendroclimatológico sobre la masa de encinas del Parque Natural del Montnegre y el Corredor, con la finalidad de conocer específicamente el comportamiento de la masa ante las variables climáticas, además de contribuir al conocimiento dendrocronológico de la Península Ibérica.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Parque Natural del Montnegre y el Corredor forma parte de la Red de Espacios Naturales protegidos por la Diputación de Barcelona que ocupa aproximadamente un 13% (100,63 ha) de la superficie de esta provincia (parcs.diba.cat/es). El objetivo principal de esta red es la ordenación del territorio mediante una planificación específica e individualizada de cada espacio para corregir o prevenir las causas de degradación real o potencial (Plan de Espacios de Interés Natural (PEIN)).

Para facilitar la ordenación de este Parque Natural, se creó un convenio entre el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y la Diputación de Barcelona con la finalidad de crear herramientas que ayuden a los gestores a tomar decisiones. Bajo este convenio se han desarrollado un diagrama de manejo de la densidad (Monfort Bague, 2014) y un modelo de calidad de estación (López-Cepero Bermúdez, 2013). Con el presente trabajo se pretende contribuir a la elaboración de herramientas de gestión mediante un estudio dendroclimatológico a partir de las rodajas de las encinas (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) que se aparearon para la elaboración del modelo de calidad de estación.

3. OBJETIVOS

3.1. Generales

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado es determinar la influencia del clima en los encinares del Parque Natural del Montnegre y el Corredor. Esta información se utilizará posteriormente para desarrollar un modelo de incremento anual en diámetro que será una parte fundamental de un modelo dinámico integrado de crecimiento y producción para los encinares del Parque Natural del Montnegre y el Corredor. De esta forma, además de facilitar la toma de decisiones y llevar a cabo un aprovechamiento adecuado del encinar, se contribuirá al conocimiento de la respuesta del crecimiento de la encina en el clima mediterráneo. El desarrollo del modelo no es objetivo del trabajo.

3.2. Específicos

1) Elaborar una cronología o serie media mediante la cual se pueda describir el crecimiento de la masa de encinas (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor.

2) Determinar la relación existente entre la cronología media obtenida del análisis de las muestras y las variables climáticas más relevantes: precipitación y temperatura.

3) Establecer qué factores climáticos limitan el crecimiento de los encinares del Parque Natural del Montnegre y el Corredor.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Área de estudio: Parque Natural del Montnegre y el Corredor

Situación geográfica, administrativa y legal

El Parque Natural del Montnegre y Corredor forma un sistema montañoso de mediana altitud situado en la Cordillera Costero-catalana. Está constituido por dos macizos: el de Montnegre y el de Corredor, cuyos puntos de mayor altitud son Turó d'en Vives a 759 msnm y el Santuari del Corredor a 657 msnm, respectivamente. Se encuentra limitado por el mar Mediterráneo y la depresión Penedés-Vallés en su parte oeste. Tiene una extensión de 15.000 ha aproximadamente y, según el sistema de coordenadas UTM ETRS1989, se sitúa en el huso 30 entre las coordenadas X 463501,948700 – 4615534,40160 m y las coordenadas Y 950149,732400 – 975774,176800 m.

Pertenece a la provincia de Barcelona, en la Comunidad Autónoma de Cataluña, entre las comarcas del Maresme y el Vallés Oriental. Abarca los términos municipales de Mataró, Dosrius, Llinars del Vallès, Vilalba Sasserra, Vallgorguina, Sant Celoni, Sant Iscle de Vallalta, Sant Cebrià de Vallalta, Fogars de la Selva, Tordera, Pineda de Mar y Palafolls (figura 4.1).

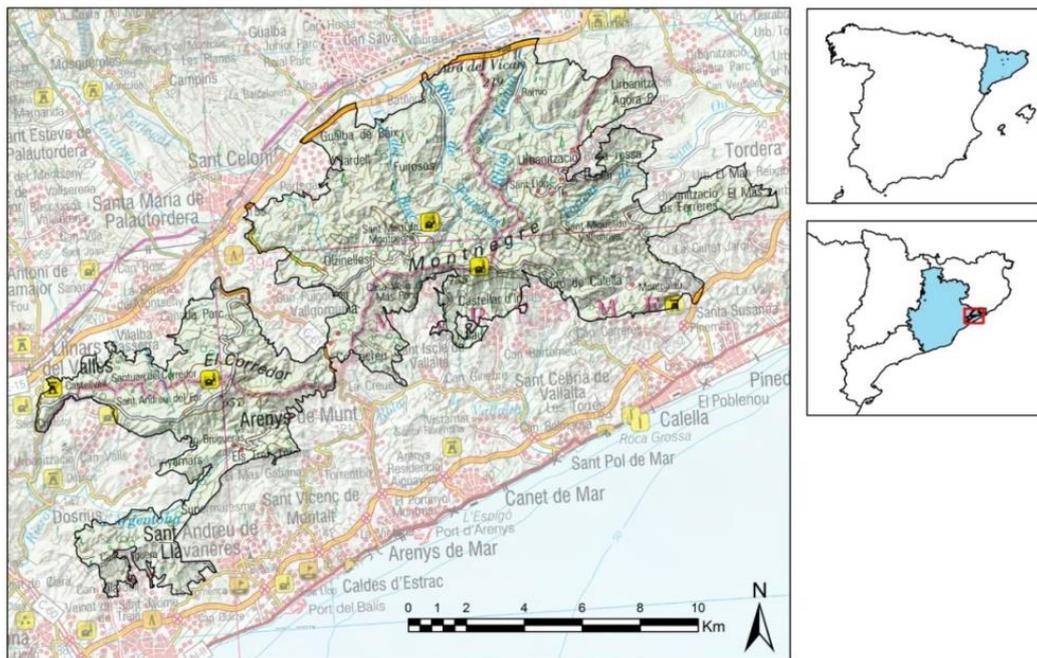


Figura 4.1. Localización del área de estudio.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Junto con otros doce espacios, fue declarado Parque Natural por la Generalitat de Catalunya mediante el Decreto 328/1994, de 14 de diciembre por el cual se aprueba el Plan de Espacios de Interés Natural (PEIN), de vigencia indefinida y regulado por la Ley 12/1985 de 13 de junio, de espacios naturales. Así mismo, este espacio fue incluido en la Red Natura 2000 en julio de 2006 como Lugar de Interés Comunitario (LIC) y pasó a ser Zona de Especial Conservación (ZEC), tal como se establece en la normativa europea, mediante el Acuerdo GOV/105/2014 de 4 de noviembre, de acuerdo a la Ley 42/2007 de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad y la Ley 12/1985. Actualmente supone el 58% de la superficie de la ZEC Serres del Litoral Septentrional.

Climatología

Los datos climáticos se han obtenido del repositorio de datos KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl). En concreto se han utilizado los datos E-OBS, una base de datos climáticos homogeneizados y de alta resolución de toda Europa (Haylock et al., 2008). Se seleccionaron variables mensuales medias en los puntos comprendidos entre las latitudes 41 y 42 N y las longitudes 2 y 3 E en un periodo que abarca de 1950 hasta 2016. En función de estos datos se ha realizado el climodiagrama, la caracterización del año medio y el balance hídrico característicos del área de estudio. Tanto la caracterización del año medio como el balance hídrico pueden consultarse en el Anexo 1. Según la clasificación de Köppen (1990) se trata de un clima mediterráneo típico (Csa) (AEMET & IM 2011). Durante el periodo de tiempo estudiado, la temperatura se ha mantenido más o menos constante. La precipitación, por el contrario, presenta oscilaciones bastante acusadas. Por otra parte, aproximadamente el 72% de los años presentan sequía estival.

La precipitación presenta un total anual escaso (645 mm) y una distribución irregular con un mínimo en julio (27 mm) y un máximo en octubre (84 mm) como se puede observar en la figura 4.2. La estación más lluviosa es el otoño y las más secas son el invierno y el verano dado que la variación de la precipitación en estas estaciones apenas difiere (tabla 1 del Anexo 1). Durante el invierno las temperaturas son suaves, por lo que las precipitaciones se producen principalmente en forma de lluvia.

La temperatura media anual es de 14° C aproximadamente con una amplitud térmica baja (15° C). El verano es moderadamente caluroso, con temperaturas medias en torno a los 20° C, y los inviernos suaves, con temperaturas medias de 7° C. El mes más caluroso es julio, con una temperatura media máxima de unos 22° C y una máxima absoluta de casi 35° C. Por otro lado, la temperatura mínima máxima se da durante el mes de febrero (6° C bajo cero). Existe un periodo de aridez en julio y agosto; sin embargo, no hay probabilidad de helada segura (tabla 1 del Anexo 1).

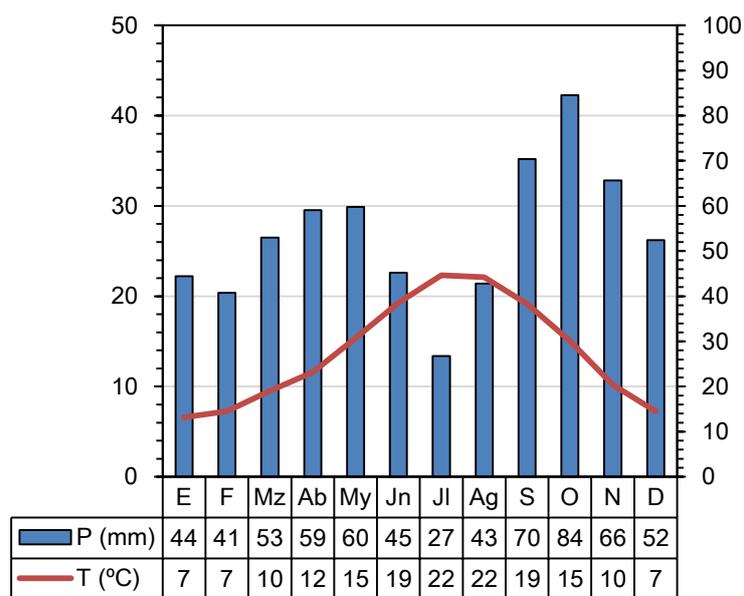


Figura 4.2. Climodiagrama del Parque Natural del Montnegre y el Corredor
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl).

Existe déficit hídrico entre mayo y septiembre dado que la evapotranspiración potencial (ETP) es mayor que la precipitación (P). Además, como se puede observar en la tabla 4.1, la evapotranspiración potencial anual (ETP_A) es mayor que la Evapotranspiración Real Máxima Anual (ETRMP) posible, por lo que existe sequía fisiológica que supone el 21% de la ETP_A . Según la clasificación climática de Thornthwaite (1948), con una Eficacia Térmica del Clima (ETC) de 745,76 mm y un Índice Hídrico (IH) de 1,45, se trata de un clima mesotérmico subhúmedo

Tabla 4.1. Valores característicos del balance hídrico en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl).

Evapotranspiración Potencial Anual (ETP_A)	745,75 mm
Reserva de agua en el suelo al final del periodo húmedo (RPH)	150 mm
Reserva de agua en el suelo al final del Periodo Seco (RPS)	22,34 mm
Evapotranspiración Real Máxima Posible (ETRMP)	587,81 mm (78,82% de ETP_A)
del periodo húmedo ($ETRMP_{PH}$)	214,94 mm
del periodo seco ($ETRMP_{PS}$)	372,87 mm
Sequía Fisiológica (SF)	159,95 mm (21,18% de ETP_A)
Drenaje calculado del suelo (DRJ)	54,51 mm (8,49% de ETP_A)

Geología

El contexto geológico del área de estudio se corresponde con el Macizo Catalano-Balear, compuesto por materiales metamórficos y sedimentarios originados durante las orogenias Hercínica y Alpina. Respecto a su litología, de acuerdo a la información obtenida del IGME (1976), la unidad representada se compone principalmente de materiales graníticos de origen paleozoico, como son las granodioritas y los leucogranitos. Según Minuartia (2001), en las zonas altas de El Montnegre, a causa de los procesos erosivos, afloran materiales pizarrosos y esquistos duros, mientras que el Corredor está formado principalmente por material de origen granítico meteorizado de coherencia baja. Los materiales del suelo son predominantemente silíceos y, aunque en algunas zonas de pizarras y esquistos se intercalan materiales carbonatados, su presencia no es muy significativa.

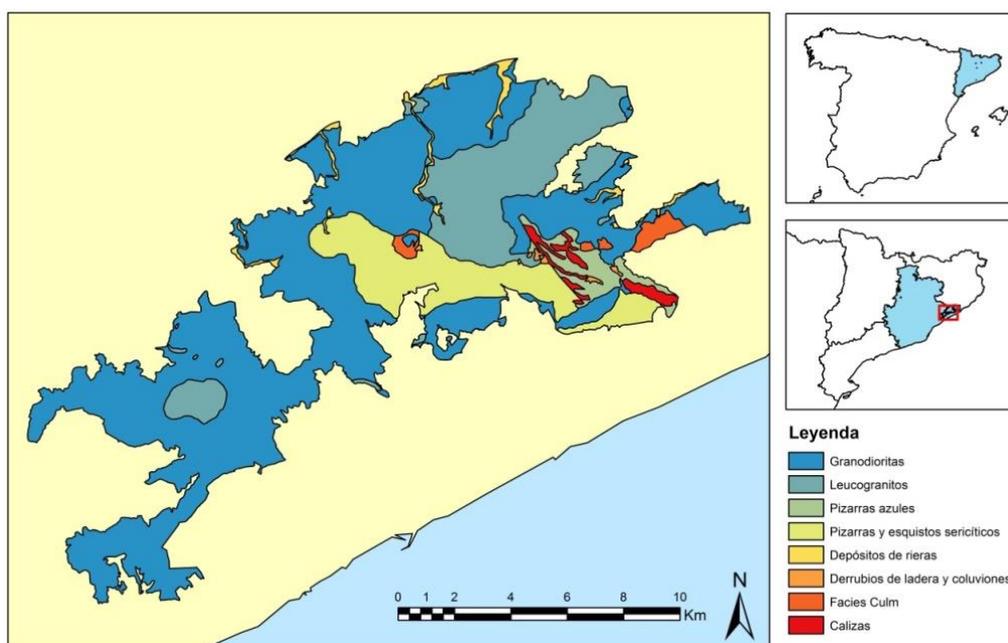


Figura 4.3. Mapa litológico del Parque Natural del Montnegre y el Corredor.

Fuente: elaboración propia a partir de la información del IGME.

Este territorio está atravesado por dos fallas tectónicas en dirección NE-SO, que dan lugar a una estructura de fosas tectónicas o graben, separadas por bloques elevados u horst (Minuartia, 2001). El relieve es de montañas suaves y penillanuras producto de la meteorización continuada. Aparecen dos cuencas hidrográficas: la correspondiente a la Comarca del Maresme y la del río Tordera, ambas con buenas condiciones de drenaje (IGME, 1976). Los ríos que las conforman presentan un carácter estacional, propiciado por la alta permeabilidad de los materiales del suelo y la fisiografía del terreno (Minuartia, 2001).

Edafología

Basándose en la clasificación de suelo de la FAO–UNESCO (1980), se ha realizado una aproximación al mapa de suelos que pueden aparecer en el área de estudio. Estos se podrían diferenciar en seis Zonas Edáficamente Homogéneas (ZEH): (1) áreas de uso urbano, (2) áreas de uso agrícola, (3) materiales carbonatados coherentes y duros, (4) materiales sedimentarios detríticos carbonatados de coherencia media, (5) materiales silíceos coherentes y duros y (6) materiales detríticos e incoherentes.

En las áreas de uso urbano (1) y uso agrícola (2), los Grupos de Suelos de Referencias de la WRB (GSR) son tecnosol y antrosol, respectivamente. Se caracterizan por estar intensamente transformados por el ser humano. En las zonas de materiales carbonatados (3) y de materiales sedimentarios detríticos carbonatados (4), la roca madre está formada por materiales con elevado contenido en calcio. Por ello, en zonas elevadas de estas ZEH, los GSR son leptosoles en las zonas coherentes y duras (horizonte R) y regosoles en las de coherencia media (horizonte C), mientras que en las zonas más bajas de suelos más evolucionados aparecen calcisoles con un horizonte de acumulación (horizonte B). En las zonas de origen silíceo (5), los GSR son cambisol, donde los materiales son coherentes y duros con un horizonte de acumulación, y luvisol en los suelos más desarrollados. En las zonas de cumbre se podrían dar leptosoles. Por último en las zonas fluviales (6) el GSR de referencia es fluvisol.

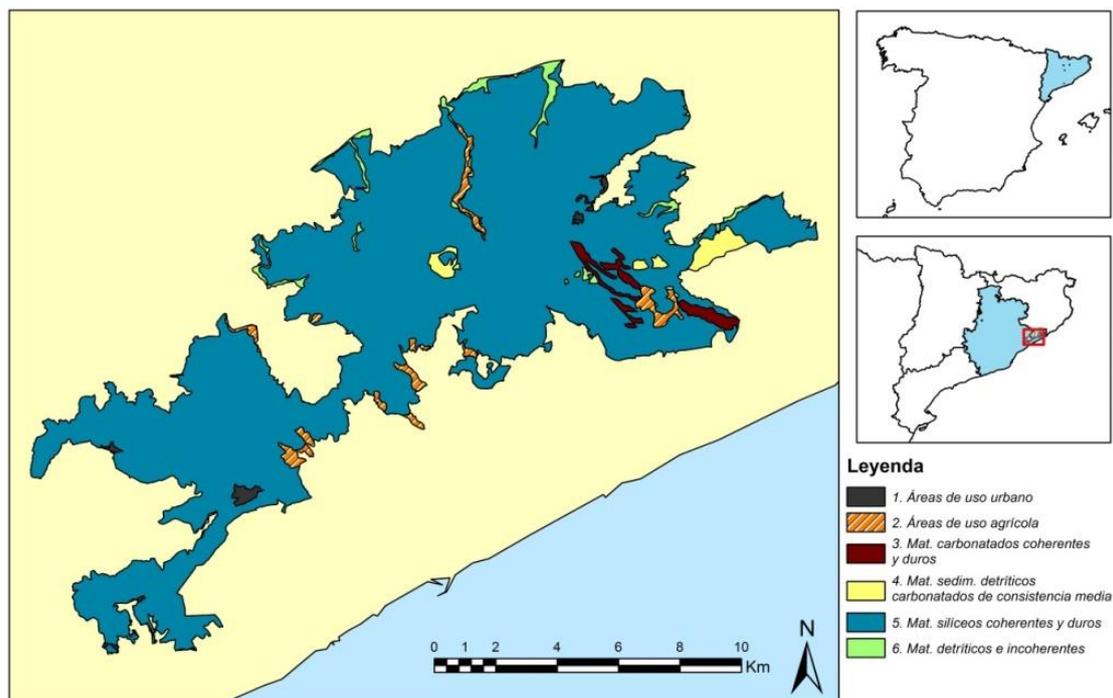


Figura 4.4. Mapa de Zonas Edáficamente Homogéneas del Parque Natural del Montnegre y el Corredor. Fuente: elaboración propia a partir de la información del IGME, el MFE200 y la FAO-UNESCO.

Flora y vegetación

Según la clasificación bioclimática de Rivas Martínez (2007) el Parque Natural del Montnegre y el Corredor se sitúa en la región bioclimática mediterránea, en la provincia Catalano-Valenciano-Provenzal, en el sector Vallesano-Empordanés. Teniendo en cuenta el índice de termicidad calculado a partir de los datos climáticos, se sitúa en el piso mesomediterráneo. En las zonas por encima de 700 msnm, se halla el piso supramediterráneo. El ombroclima es en ambos casos subhúmedo. Según la clasificación fitoclimática de Allué Andrade (1990) se encuentra en la subregión VI (IV)1, en subtipo climático Nemoro-Mediterráneo genuino. Según la clasificación de sectores de Ruiz de la Torre y Ruiz del Castillo (1977), el municipio está situado en la región Cataluña (C) con un clima submediterráneo, al menos en altitud, y un dominio florístico Mediterráneo-Eurosiberiano.

La superficie del parque ocupada por zona agrícola o artificial en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor es muy pequeña en comparación con la superficie forestal. Predomina el bosque esclerófilo de encinas (*Quercus ilex subsp. ilex*) y alcornoques (*Quercus suber*) con presencia más o menos abundante de vegetación de tipo caducifolio (Panareda Clopés et al., 2001). La superficie forestal es principalmente de carácter natural pero también hay zonas de plantación para aprovechamiento maderero, extracción de resina o producción de fruto. Los árboles más abundantes son alcornoques (*Quercus suber*), encina (*Quercus ilex*) y pino piñonero (*Pinus pinea*), seguidos por roble (*Quercus petraea*), quejigo andaluz (*Quercus canariensis*), roble pubescente (*Quercus humilis*) y castaño (*Castanea sativa*), este último plantado y favorecido (Panareda Clopés et al., 2001). También se dan zonas de matorrales casi siempre mezcladas con formaciones arbóreas. En la tabla 4.3 se detallan las formaciones arbóreas, arbustivas y matorrales presentes en el área de estudio.

Tabla 4.3. Formaciones de vegetación presentes en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor
Fuente: elaboración propia a partir de la información del MFE50 y de Panareda Clopés et al. (2001)

Formaciones arbóreas y arbustivas	Bosques de plantación	Masas puras de pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>), pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>), pino resinero (<i>Pinus pinaster</i>) y pino de Monterrey (<i>Pinus radiata</i>). Castañares (<i>Castanea sativa</i>). Eucaliptares (<i>Eucalyptus globulus</i>). Choperas (<i>Populus sp.</i>) y plataneras (<i>Platanus hispanica</i>).
	Bosques naturales	Encinar (<i>Quercus ilex</i>) con lentisco (<i>Pistacia lentiscus</i>) y otras especies acompañantes. Encinar de montaña: encina (<i>Q. ilex</i>) y alcornoque (<i>Q. suber</i>) con especies caducifolias y sotobosque supramediterráneo. Bosque mixto de coníferas con frondosas: pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>) con encina (<i>Q. ilex</i>) y alcornoque (<i>Q. suber</i>). Robledales: masas mixtas de roble (<i>Q. petraea</i>), quejigo andaluz (<i>Q. canariensis</i>) y roble pubescente (<i>Q. humilis</i>) con otras especies de carácter supramediterráneo. Bosque de ribera con sauce (<i>Salix sp.</i>), aliso (<i>Alnus glutinosa</i>), fresno (<i>Fraxinus sp.</i>), olmo (<i>Ulmus sp.</i>) y chopo (<i>Populus sp.</i>)
Matorrales	Maquias y garrigas de madroño (<i>Arbutus unedo</i>), brezo (<i>Erica arborea</i>) y lentisco (<i>Pistacia lentiscus</i>). Estepas y brezales de esparto (<i>Stipa tenacissima</i>), brezo (<i>Erica arborea</i>), romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>) y tojo (<i>Ulex europaeus</i>). Espinares y zarzales de zarzamora (<i>Rubus spp.</i>). Alocar (<i>Vitex agnus-castus</i>) con hierba doncella (<i>Vinca major</i>), tusilago (<i>Petasites fragans</i>) y malvavisco rizado (<i>Lavatera Olbia</i>).	

Zonificación y usos del parque

Los terrenos de este Parque Natural, aunque están gestionados por la Diputación de Barcelona, son en su mayoría de titularidad privada. De las 15.010 ha que ocupa el parque, tan solo 1.389 (9,25%) son de titularidad pública (parcs.diba.cat/es).

Tradicionalmente los macizos del Corredor y el Montnegre han sufrido un aprovechamiento intenso para la producción de madera, leña, corcho, resina y fruto (piñón y castaña) (Urteaga y Nadal, 2013). Hoy en día se mantiene la extracción moderada de leña de encina, el aprovechamiento maderero de las plantaciones de ribera y los pinares, y se está recuperando en cierta medida la explotación de corcho. El uso agrícola es mínimo, por lo que la mayor parte de las masías se han acondicionado para el turismo, la hostelería y la restauración. Por otra parte, el uso público del parque ha cobrado importancia, favorecido por su proximidad a gran cantidad de municipios con una densidad de población relativamente alta. Por ello se creó una red de equipamientos públicos y privados para las actividades de ocio: una red de caminos, áreas recreativas y centros de información sobre los valores ecológicos y culturales del parque.

Los usos permitidos están regulados por el PEIN en función de la zonificación del parque (tabla 4.4). Según esta organización en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor se establecen las siguientes zonas: (1) forestal consolidada, (2) forestal de interés ecológico y paisajístico, (3) forestal de recuperación, (4) agrícola, (5) de rieras y torrentes y (6) de regulación complementaria.

Tabla 4.4. Usos permitidos en función de la zonificación del Parque Natural del Montnegre y el Corredor. Fuente: elaboración propia a partir de la información obtenida del PEIN.

Tipos de usos	Zona forestal consolidada	Zona forestal de alto interés ecológico y paisajístico	Zona forestal de recuperación	Zona agrícola	Zona de rieras y torrentes	Zona de regulación complementaria
Aprovechamiento forestal compatible con la conservación	SI	SI*	SI	-	SI	SI*
Agrícola compatible con la conservación	NO	NO	NO	SI	SI	SI
Ganadero compatible con la conservación	SI	SI	SI	SI	-	SI
Residencial en las edificaciones existentes	SI	SI	SI	SI	-	SI
Actividades comerciales tradicionales en las edificaciones existentes	SI	NO	SI	SI	-	SI
Restauración y Hostelería	SI	NO	SI	SI	-	SI
Actividades culturales, deportivas, recreativas o de investigación científica	SI*	SI*	SI*	SI	-	SI
Uso público	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Construcción de infraestructuras	SI*	NO	SI*	SI*	SI*	SI*

(*) Es necesaria una autorización específica.

4.1.2. Especie objeto del estudio: *Quercus ilex* subsp. *ilex*

La encina (*Quercus ilex* L.) es una especie arbórea perenne de hojas gruesas, lanceoladas, y de borde entero o aserrado (en los nuevos brotes y hojas más bajas). Presenta una copa amplia y redondeada y normalmente alcanza una altura media de 15 m, aunque puede llegar a medir 27 (Castroviejo et al., 1990). Se distribuye a lo largo de toda la cuenca del Mediterráneo y se extiende por casi toda la Península Ibérica. En España se distribuye con mayor o menor frecuencia por todo el territorio y constituye la vegetación potencial de la mayor parte de la península (López González, 2010).

Se desarrolla en bosques esclerófilos mediterráneos, de los cuales es la especie más característica. Soporta la sequía estival y los climas duros continentales, por lo que es el árbol dominante en las regiones de clima mediterráneo seco (López González, 2010). Su rango de temperaturas idóneo está entre los 10 y 25 °C, y el de precipitación entre 100 y 600 mm, aunque puede aparecer en zonas con una precipitación de 800 mm en masas mixtas en solana (Patón et al., 2009). Pueden desarrollarse desde el nivel del mar hasta 1400 msnm y, de forma aislada y de carácter arbustivo, pueden crecer hasta 1900 o 2000 msnm. Es indiferente edáfica pero su crecimiento se ve limitado en zonas de suelos encharcables o salinos. Se trata de una especie mejorante y, al ser perennifolia, protege al suelo de climas extremos (Montoya Oliver, 1989).

Existen dos subespecies de encina: *Quercus ilex* subsp. *ilex* y *Quercus ilex* subsp. *ballota*. Esta última, se distribuye por la mayor parte de la Península exceptuando el norte desde Asturias hasta Cataluña, que es el área de distribución de *Q. ilex* subsp. *ilex* (Castroviejo et al., 1990). Aun así ambas subespecies hibridan en las zonas de transición entre la costa y el interior, por lo que resulta difícil establecer una línea concreta de separación entre las áreas de distribución (López González, 2010). La subespecie *ilex* es más de sombra que la subespecie *ballota*, por lo tanto forma bosques más espesos con abundante sotobosque, pero su crecimiento no se ve limitado tras la puesta en luz (Montoya Oliver, 1989)

La encina en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor

Las encinas que aparecen en el área de estudio pertenecen a la subespecie *ilex*, y se distribuyen de forma más o menos uniforme a lo largo de todo el Parque Natural. En las vertientes más soleadas y secas aparecen encinares mesomediterráneos con presencia de durillo (*Viburnum tinus*), típicos de las zonas costeras de Cataluña, Levante y Baleares, a causa del clima húmedo costero. Penareda Clopés et al. (2001) clasifican estos encinares del Montnegre y el Corredor en seis tipos de formaciones: (1) encinar con lentisco (*Pistacia lentiscus*), (2) encinar ralo con madroño (*Arbutus unedo*), (3) encinar con culantrillo negro (*Asplenium adiantum-nigrum*), (4) encinar con hiedra (*Hedera helix*), (5) encinar con alcornoque (*Quercus suber*) y (6) encinar con robles (*Quercus pubescens*, *Quercus canariensis* y *Quercus petraea*). En las zonas más altas, en torno a 700 msnm de mayor humedad y las temperaturas más bajas, aparecen encinares supramediterráneos poco homogéneos con sotobosque de tipo caducifolio.

El intenso aprovechamiento para la extracción de leña y carbón dio lugar a la formación de un bosque monoespecífico de encinares aclarados bajos, o mixtos con alcornoque (*Quercus suber*) y pino piñonero (*Pinus pinea*). Hoy en día el aprovechamiento forestal de la zona ha disminuido notablemente, lo que puede derivar en dos situaciones: la extensión del bosque monoespecífico de encina por el territorio de los pinares, alcornocales y matorrales o, por el contrario, la reclusión de esta especie a las vertientes más frescas de la parte superior del Montnegre (Penareda Clopés et al., 2001).

4.2. Métodos

4.2.1. Diseño de las parcelas

Las parcelas de las que provienen las rodajas utilizadas para llevar a cabo el estudio dendrocronológico se obtuvieron de las seleccionadas para dos trabajos anteriores: un diagrama de manejo de la densidad (Monfort Bague, 2014) y un modelo de calidad de estación (López-Cepero Bermúdez, 2013). Concretamente, proceden de los árboles apeados para la elaboración del modelo de calidad de estación.

Ante la dificultad para encontrar parcelas representativas de todas las clases, se decidió instalar parcelas en rodales de densidad media-alta sin claros. Se determinaron los rangos de edad en función del ciclo productivo de la especie ya que así se consigue una aproximación a la evolución natural de la masa (Pita, 1991). Se escogieron parcelas circulares a causa de la complicada fisiografía del terreno, las elevadas pendientes y el denso sotobosque. Además, las parcelas circulares son más fáciles de localizar en inventarios posteriores. Finalmente se seleccionó un total de 50 parcelas con pendientes entre el 12 y el 100% y una altitud entre 200 y 725 msnm, en función de los siguientes criterios:

- La encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) debía ser la especie dominante
- Constaban de una superficie mínima de 10 metros de radio
- Debían ser masas homogéneas en edad y altura
- Los pies debían estar repartidos de manera uniforme
- No se debían haber producido actuaciones selvícolas o daños importantes por incendios u otras perturbaciones en los últimos 10 años.

En la figura 4.5 se representan las parcelas utilizadas para el estudio dendroclimatológico. Se escogieron un total de 19 de las 50 muestras iniciales debido a la dificultad que supone distinguir los anillos de crecimiento en las muestras, como se explica en los siguientes apartados. Como se puede observar, las parcelas se distribuyen por los dos macizos que componen el Parque.

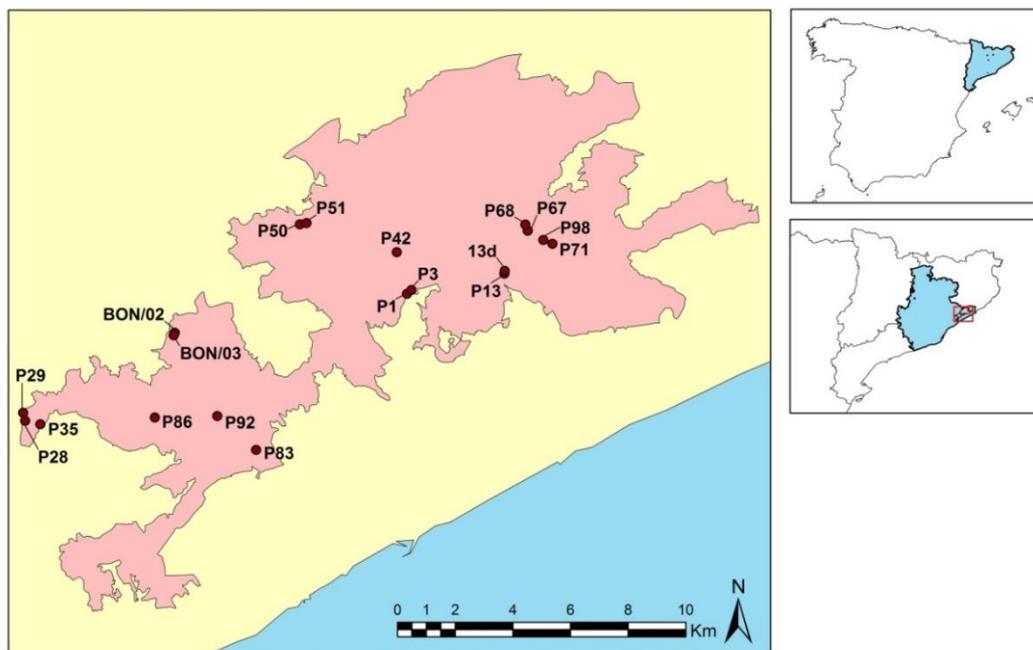


Figura 4.5. Mapa de localización de las 19 parcelas utilizadas para el estudio dendroclimatológico.

4.2.2. Toma de datos

Campo

Se escogió un árbol dominante por parcela según la clasificación sociológica de Kraft de 1884 (Pretzsch, 2009), sanos y sin pudriciones. Los árboles escogidos se apearon por la base y se cortaron rodajas en la base, a 50 cm, a 1,30 m y, a partir de ahí, cada 50 cm. Las rodajas con las que se ha trabajado son las que se corresponden con el diámetro normal, es decir, a una altura de 1,30 m desde la base. Se cortaron con un grosor mínimo de 3 cm para facilitar el tratamiento en laboratorio. Se obtuvo un total de 50 muestras. Es importante destacar que las encinas fueron apeadas en marzo de 2012 y que, por lo tanto, aún no se había producido el crecimiento vegetativo correspondiente a ese año. En consecuencia, a la hora de datar las rodajas, se considera que el último anillo de crecimiento se corresponde con 2011.

Laboratorio

Antes de medir las muestras, se lijaron para nivelar la superficie del disco y facilitar la lectura de los anillos al apreciarse con mayor precisión los límites de cada uno de ellos. Primero se realizó un cepillado con un cepillo eléctrico hasta eliminar el trisque producido por la motosierra en campo. A continuación se lijó cada rodaja con una lijadora rotorbital comenzando con un grano 120 y siguiendo por 180, 220 y 320 hasta un máximo de 400. Por último se utilizó un compresor de aire para eliminar el polvo producido por el lijado y así despejar los vasos conductores, ya que estos ayudan a determinar los límites de los anillos. Para la medición de anillos se hizo uso de una mesa de mediciones para series de anillos LINTAB, una lupa de aumento Kyowa Optical modelo SDZ-TR-P y una lámpara de fibra óptica Kyowa modelo FLG. Las mediciones se registraron usando el software TSAP-WIN con una precisión de 1/100 mm. El resultado son series en las que se relaciona la anchura de cada anillo con el año en que se produjo tal crecimiento.

4.2.3. Tratamiento de los datos

Datación y sincronización

La datación consiste en asociar cada anillo de crecimiento con el año en el que se generó. Para ello se toma de referencia el último anillo formado (el más externo) que es el del último periodo vegetativo antes de la extracción de la muestra, en este caso 2011. Para comprobar que las muestras están bien datadas se lleva a cabo una sincronización o *cross-dating* (Stokes y Smiley, 1968). Este proceso consiste en comparar de forma sucesiva las muestras para hacer coincidir tramos de las series que son comunes a todas las muestras en un año o grupo de años, por formarse bajo las mismas condiciones medioambientales. Para ello se utilizan tramos característicos como picos o anillos ausentes.

Primero se utilizó el software TSAP-WIN para realizar la sincronización de forma visual, comparar los patrones de crecimiento y verificar que la datación de cada muestra era la correcta. Para comprobar la calidad de las mediciones y detectar posibles errores se utilizó el software COFECHA (Holmes, 1983). Este programa informático calcula coeficientes de correlación para diferentes intervalos, entre la serie media de las muestras y cada muestra individual. También detecta errores potenciales o *flags* que pueden ser corregidos y mejorar la calidad de las mediciones.

Selección de muestras

Según Cook y Kairiukstis (1990), en estudios dendroclimatológicos se suelen utilizar entre 20 y 30 árboles para obtener una cronología media, aunque el número mínimo necesario para establecer una cronología fiable está establecido en 15 según el criterio del International Tree Ring Data Bank (www.ncdc.noaa.gov). En este caso se han obtenido 19 muestras fiables de las 50 muestras iniciales (figura 4.5), cuyos datos concretos vienen especificados en el Anexo 2. La encina es una especie perennifolia que, en este caso concreto, además se localiza en clima mediterráneo lo que provoca que los anillos de crecimiento sean difíciles de diferenciar y datar como se explica en el apartado 1.2. Con el objetivo de asegurar la fiabilidad de la medición, se midieron dos radios por muestra. En algunas de las rodajas solo se utilizó una de las mediciones del radio por ser la delimitación de los anillos poco clara.

Estandarización

La estandarización es un proceso estadístico mediante el cual se transforman variables aleatorias en estacionarias con media constante y varianza homogénea a la vez que se eliminan señales no deseadas en las series de anillos de crecimiento. De esta forma todas las muestras pueden ser comparadas entre sí y se elimina ruido para los análisis posteriores (Cook y Kairiukstis, 1991). Para lograrlo hay que distinguir entre la señal, información derivada de los anillos de crecimiento relevante para el estudio de un problema en particular, y el ruido, información irrelevante para dicho estudio. Según Cook y Kairiukstis (1991) el crecimiento de un árbol está determinado por una función en la que el ancho de un anillo de crecimiento se puede expresar como un agregado de factores. Dicho agregado se muestra a continuación (expresión 1),

$$R_t = A_t + C_t + \delta D2_t + \delta D1_t + E_t \quad (1)$$

donde R_t es el ancho del anillo; A_t es el efecto ontogénico (que se explicará más adelante); C_t es la influencia de factores climáticos; $D1_t$ y $D2_t$ son los factores de perturbación dentro de la masa endógenos y exógenos respectivamente; y E_t es el error aleatorio asociado a otras señales. El símbolo δ es un indicador binario de la presencia ($\delta = 1$) o ausencia ($\delta = 0$), por lo tanto, mientras que A_t , C_t y E_t se consideran constantes, $D1_t$ y $D2_t$ pueden aparecer o no. En la figura 4.6 se muestra el crecimiento del radio anual. Presenta una tendencia de crecimiento representativa de una masa alterada por perturbaciones endógenas y exógenas; de lo contrario, la tendencia sería exponencial decreciente (típica de las masas abiertas).

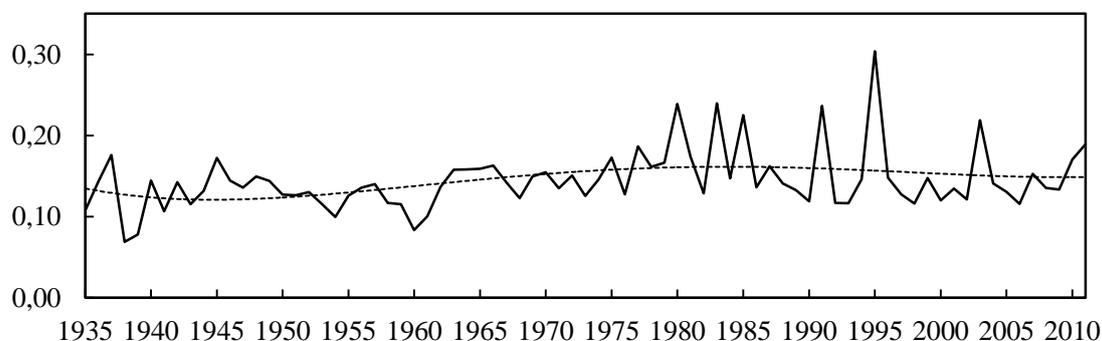


Figura 4.6. Representación de la cronología de crecimiento medio de la masa de encinas (*Q. ilex* subsp. *ilex*) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor en función del incremento del radio en $\text{cm}^2/\text{año}$ y de su tendencia de crecimiento en el periodo 1935-2011.

Si se considera este agregado como una suma de ondas de diferente amplitud y frecuencia que se corresponden con cada uno de los factores de la expresión (1), se puede filtrar mediante una función que deje pasar las altas frecuencias (señal) y que atenúe o elimine las bajas y medias frecuencias (ruido) (Box et al., 2008). En este caso la señal que se pretende analizar es la influencia de los factores climáticos (C_t), por lo tanto, es necesario excluir de la función la tendencia de crecimiento asociada al efecto ontogénico (A_t) y los factores de perturbación de la masa ($D1_t$ y $D2_t$).

El efecto ontogénico (A_t) es la restricción geométrica causada por los procesos de envejecimiento y aumento del tamaño del árbol (Cook y Kairiukstis, 1991). La tendencia de crecimiento acumulado teórico de una masa sigue una curva sigmoideal (figura 4.7). Durante la juventud, se produce un incremento rápido del tamaño hasta un punto de inflexión, donde disminuye el crecimiento y, por lo tanto la pendiente, a medida que el árbol alcanza la madurez (Oldeman, 1990). Aunque la producción de madera sea mayor, el incremento radial es menor, es decir, los anillos son cada vez más pequeños. Para eliminar esta tendencia se utilizó el paquete dplR (R Core Team, 2015) para asociar los diámetros de la altura normal (dn) de cada muestra a los valores de crecimiento medios por año. Este proceso de eliminación del efecto ontogénico a la vez que se conserva la variabilidad interanual se conoce como *detrending*. El resultado son valores de incremento del área basimétrica por árbol y año a partir de los cuales se calculan los valores medios por año (cronología). Esto permite describir la tendencia del crecimiento de la masa (figura 5.1).

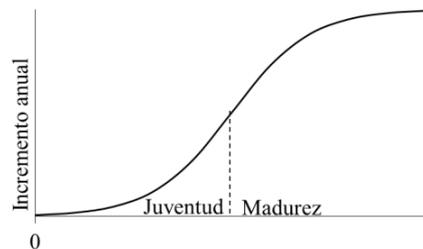


Figura 4.7. Fases de crecimiento secundario en la vida de una masa.

Los factores de perturbación endógenos ($D1_t$) de la masa se producen a consecuencia de procesos que afectan a la tendencia de crecimiento de los árboles de una masa de forma individual, como el efecto producido por la competencia por el espacio. Por otro lado los factores de perturbación exógenos ($D2_t$) son aquellos que representan la respuesta característica de un árbol ante una perturbación que afecta a toda la masa, como por ejemplo los incendios, las plagas o los aprovechamientos forestales (Cook y Kairiukstis, 1991). En el caso del Montnegre y el Corredor, la vegetación es bastante densa y además ha estado muy alterada por la influencia del ser humano para la extracción de leña. Esto genera perturbaciones endógenas y exógenas que, al igual que el efecto de la edad, hay que eliminar para determinar la señal climática.

Para eliminar estas perturbaciones en la masa se ha utilizado una función *spline* aplicada sobre los valores de las mediciones iniciales. Se trata de una función polinómica que permite eliminar señales no deseadas, en este caso decenales. Para ello se aplicó un *spline* con una longitud de ventana de 10 años y un punto de límite del 50% con el paquete dplR (R Core Team, 2015). El resultado son series individuales de índices de crecimiento en las que las variaciones de media y baja frecuencia han sido eliminadas y sólo se conservan las variaciones de alta frecuencia (variabilidad interanual). A continuación se estimaron los valores medios por año para compararlos con las variables climáticas de precipitación y temperatura.

Estimación de la serie de crecimiento representativa de la masa

Para determinar la porción de la serie media representativa de la población, se utilizó el estadístico *Expressed Population Signal* (Wigley et al., 1984). Este estadístico cuantifica lo representativa que es una cronología basada en un número finito de árboles respecto de la hipotética cronología perfecta o verdadera. Su función es la siguiente (expresión 2),

$$EPS(t) = \frac{\bar{r}_{eff}}{\bar{r}_{eff} + (1 - \bar{r}_{eff})/t} = \frac{t \bar{r}_{eff}}{t \bar{r}_{eff} + (1 - \bar{r}_{eff})} \quad (2)$$

donde t es el número de series que se usan para la media y \bar{r}_{eff} es la media de la correlación de las muestras.

Se determinaron las medias de las correlaciones de las muestras (r_{eff}) en ventanas de 50 años en los valores de incremento del área basimétrica. A partir de esos valores se determinaron los valores de EPS para dichas ventanas. El año a partir del cual los valores son fiables es aquel a partir del cual el valor de EPS se estabiliza por encima de 0,85.

Estimación de la influencia de las variables climáticas en el crecimiento

Una vez obtenidas las cronologías se procede a la identificación de los factores climáticos que afectan en mayor medida al crecimiento de las encinas del área de estudio. Para ello se han utilizado los datos E-OBS de KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl) de precipitación y temperatura para el periodo de 1967-2011. Para interpretar los valores de las correlaciones se ha tenido en cuenta el valor de significancia de los coeficientes así como su signo (positivo o negativo).

Como se menciona en el apartado anterior, para determinar dicha correlación se relacionarán los valores de índice de crecimiento obtenidos tras la aplicación de la función spline para estimar las correlaciones, con los valores de cada mes con la precipitación acumulada y la temperatura media. De esta forma se han obtenido las correlaciones mensuales para la estación de crecimiento (t) y para la estación anterior al crecimiento ($t-1$).

Posteriormente, se han calculado correlaciones entre el crecimiento y la precipitación acumulada y, entre el crecimiento y la temperatura media, en grupos de dos, tres, cuatro, hasta los 12 meses del año. De esta forma se han obtenido las correlaciones estacionales que permiten conocer cuál es el periodo del año más determinante para el crecimiento.

Se han representado los valores de correlación hasta la agrupación de 4 meses, ya que para agrupaciones de 5 meses o más se ha considerado que la amplitud de tiempo seleccionada no era representativa. La correlación máxima de la agrupación de 5 meses es menor que la máxima (al agrupar 3 y 4 meses), además de abarcar una proporción del año demasiado amplia como para tener un interés cualitativo para el estudio. En el anexo 3 se pueden consultar todos los valores de correlación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

5.1.1. Crecimiento de la masa

En este apartado se describe el crecimiento diametral o secundario de la masa de encinas del Parque Natural del Montnegre y el Corredor. Los datos obtenidos de las rodajas comienzan en el año 1935 y terminan en el 2011. Sin embargo, es a partir de 1967 cuando el valor de EPS se estabiliza por encima de 0,85, valor utilizado como referencia para establecer la fiabilidad de una cronología media. Es decir, entre 1935 y 1966 no hay muestras suficientes para considerar la cronología media como representativa de la masa.

Tanto para describir el crecimiento de la masa como para establecer las correlaciones con el clima, se han utilizado solo los 44 años que van desde 1967 hasta 2011 y que representan la porción de la cronología media considerada como representativa de la masa. En la figura 5.1 se muestra la cronología completa tras eliminar el efecto ontogénico. Como se puede apreciar, el incremento del área basimétrica de la masa tiene una tendencia exponencial creciente. Es decir, la producción de madera tiende a crecer a largo plazo.

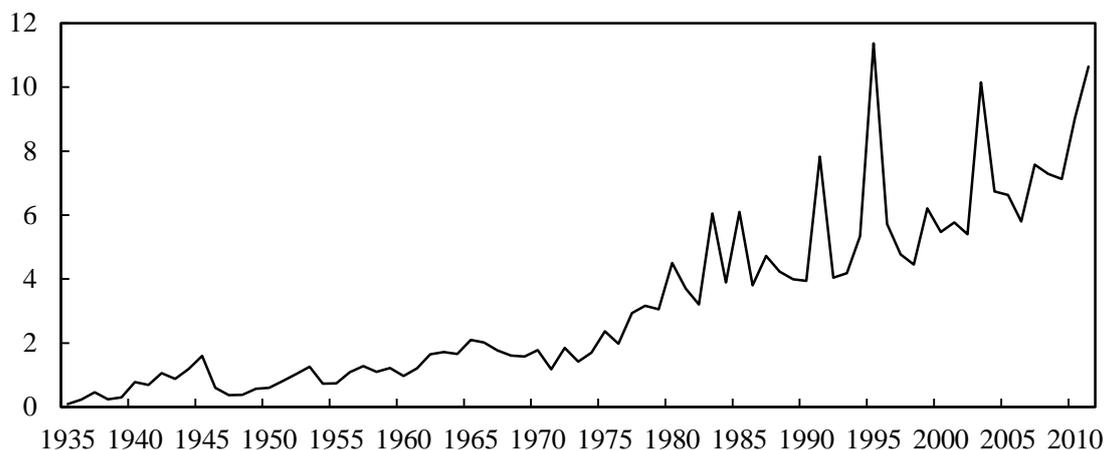


Figura 5.1. Representación de la cronología de crecimiento medio de la masa de encinas (*Q. ilex* subsp. *ilex*) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor en función del incremento del área basimétrica en $\text{cm}^2/\text{año}$ en el periodo 1935-2011.

El crecimiento medio de la masa, si se considera la cronología completa (1935-2011), es de $3,1 \text{ cm}^2/\text{año}$ con una desviación estándar de $2,6 \text{ cm}^2/\text{año}$. Esto da lugar a un coeficiente de variación (C.V.) muy elevado (83,5%) lo que quiere decir que hay mucha heterogeneidad en el crecimiento medio anual.

Si se considera solo el periodo considerado representativo (1967-2011), la media de crecimiento es de $4,67 \text{ cm}^2/\text{año}$ con una desviación estándar de $2,37 \text{ cm}^2/\text{año}$, lo que da lugar a C.V. de 50,76% que es sustancialmente menor que si se considera la cronología completa. Sin embargo, los datos están relativamente dispersos y, en este periodo, aparecen desviaciones del crecimiento medio más pronunciadas que en etapas anteriores. Entre estas desviaciones del crecimiento medio destacan las que tuvieron lugar en 1991, 1995 y 2003 con unos crecimientos medios de 7,83; 11,37 y 10,15 $\text{cm}^2/\text{año}$, respectivamente. Por otra parte el mínimo de crecimiento durante el periodo representativo se produce en el año 1971 con un crecimiento de $1,18 \text{ cm}^2/\text{año}$.

En la tabla 5.1 se representan los valores estadísticos agrupados en clases de 10 años desde 1967 hasta 2011. En la primera clase hay 12 años en lugar de 10 para así incluir valores desde 1967. Como se puede observar, los valores de la media (\bar{x}) son cada vez mayores de una década a la siguiente. Por otro lado, la desviación estándar (σ) de cada década no tiene la misma evolución creciente que la media, sino que fluctúa de una década a otra. Esto da lugar a C.V. bastante heterogéneos, lo que indica que el crecimiento de la masa ha sido variable.

Tabla 5.1. Tabla representativa de los parámetros estadísticos de los valores de crecimiento de las encinas (*Q. ilex* subsp. *ilex*) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor agrupadas en décadas para el periodo significativo (1967-2011).

Periodo de observación	\bar{x} (cm ² /año)	σ (cm ² /año)	Crecimiento máximo (cm ² /año)	Crecimiento mínimo (cm ² /año)	CV (%)	Nº máximo de muestras	Nº mínimo de muestras
1967-1979	2,03	0,88	4,50	1,18	43,21	33	21
1980-1989	4,42	0,92	6,10	3,20	20,78	33	33
1990-1999	5,78	2,18	11,37	4,04	37,68	33	33
2000-2011	7,30	1,70	10,64	5,40	23,30	33	21
TOTAL	4,67	2,37	11,37	1,18	50,76	33	21

Los C.V. más elevados son los que se corresponden con el periodo de observación entre 1935 y 1966. Sin embargo este periodo, como se menciona anteriormente, es una porción de la cronología que no se considera representativa de la masa por el bajo número de árboles que la integran.

Si se consideran los datos representativos, (a partir de 1967) la década de mayor heterogeneidad en el crecimiento es la comprendida entre 1990 y 1999 con un C.V. de 37,68% y una diferencia entre el crecimiento máximo y mínimo de 7,33 cm²/año. Es en esta década en la que se produce el crecimiento máximo de la cronología con 11,37 cm²/año en 1995. La década de mayor homogeneidad es la de 1980 y 1989 (C.V. de 20,78%) y es también la que menor diferencia presenta entre el valor máximo y mínimo de crecimiento (2,89 cm²/año). Sin embargo, es en la década de 1970 a 1979 en la que se produce el crecimiento mínimo. En este caso, la diferencia entre el crecimiento máximo y mínimo es de 3,32 cm²/año.

5.1.2. Correlaciones mensuales y estacionales entre el crecimiento y el clima

En este apartado se procede a mostrar los resultados obtenidos tras efectuar las correlaciones entre el crecimiento y el clima. Se han realizado correlaciones mensuales (figura 5.2) y estacionales (figura 5.3). Se han considerado significativas todas aquellas correlaciones con un valor p menor de 0,05.

En la figura 5.2 se representan las correlaciones mensuales entre la cronología de la masa de encinas del Parque Natural del Montnegre y el Corredor y las series instrumentales de precipitación y temperatura. Se muestran datos desde junio del año anterior al crecimiento (t-1) hasta septiembre del año de crecimiento (t). Como se puede observar, no existen muchas correlaciones significativas entre el crecimiento y estas dos variables climáticas. No se dan correlaciones mensuales con la temperatura para el año anterior al crecimiento ni para el año de crecimiento. Para la precipitación, a pesar de que las correlaciones también son bajas para la mayoría de los meses, en septiembre y octubre del año anterior, existe una correlación positiva significativa (ambas de 0,3).

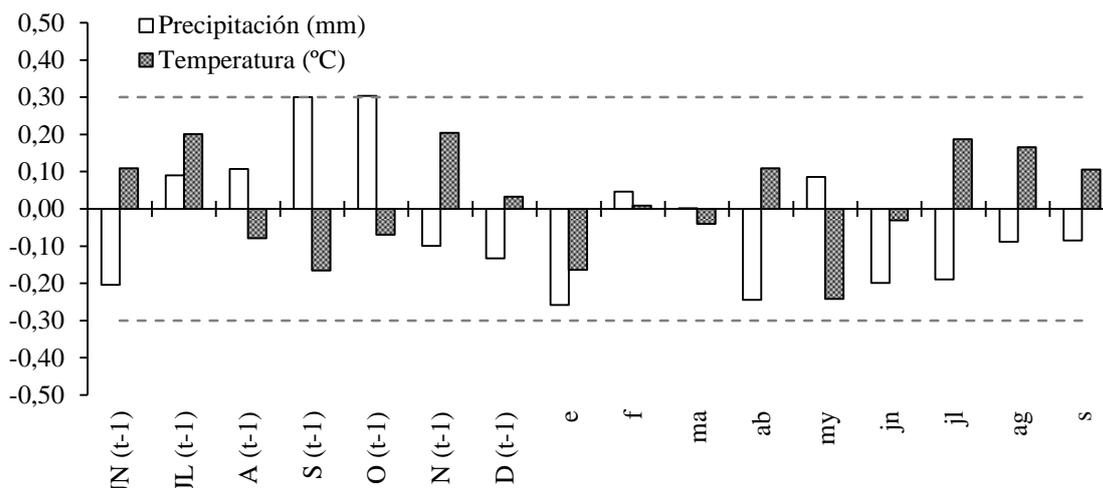


Figura 5.2. Correlación mensual entre la cronología de crecimiento y las series instrumentales de precipitación y temperatura para el año anterior al crecimiento representado en mayúsculas (t-1) y el año de crecimiento representado en minúsculas (t). En el eje de abscisas se representan los meses desde junio del año anterior al crecimiento hasta septiembre del año de crecimiento y en el eje de ordenadas se representan los valores de correlación.

En vista de estos resultados se puede decir que la precipitación de otoño del año anterior tiene un efecto positivo sobre el crecimiento, mientras que no existen evidencias estadísticas de que la temperatura sea un factor limitante para el crecimiento de la encina en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor. Sin embargo, para completar y verificar esta premisa se han llevado a cabo correlaciones estacionales.

Como se puede observar en la figura 5.3, al igual que el análisis mensual, no se dan correlaciones significativas con la temperatura estacional, aunque sí con la precipitación. Estas son positivas para la precipitación del año anterior al crecimiento (t-1), mientras que con el año de crecimiento son esencialmente negativas.

Se dan correlaciones significativas positivas entre el crecimiento y la precipitación acumulada de agosto-septiembre ($r=0,31$), de septiembre-octubre ($r=0,39$), de julio-agosto-septiembre ($r=0,36$), de agosto-septiembre-octubre ($r=0,45$), de septiembre-octubre-noviembre ($r=0,30$), de julio-agosto-septiembre-octubre ($r=0,45$) y de agosto-septiembre-octubre-noviembre ($r=0,34$). Por otro lado se dan correlaciones negativas con la precipitación acumulada de junio-julio ($r=-0,30$), de junio-julio-agosto ($r=-0,30$) y de junio-julio-agosto-septiembre ($r=-0,33$) del año de crecimiento.

Como se puede observar, todas las correlaciones positivas entre la precipitación acumulada y el crecimiento incluyen los meses de septiembre, octubre o ambos. Las correlaciones más altas se dan con la precipitación acumulada en julio-agosto-septiembre-octubre y en agosto-septiembre-octubre del año anterior al crecimiento (t-1), ambas con un valor de correlación de 0,45.

Por otro lado, la precipitación de junio-julio-agosto-septiembre del año de crecimiento tiene un efecto negativo sobre el crecimiento, con un valor de correlación de -0,33. De esto se deduce que las precipitaciones en verano y principios de otoño del año anterior al crecimiento tienen un efecto positivo en el crecimiento de la encina, mientras que la precipitación durante el verano del año de crecimiento tiene un efecto negativo.

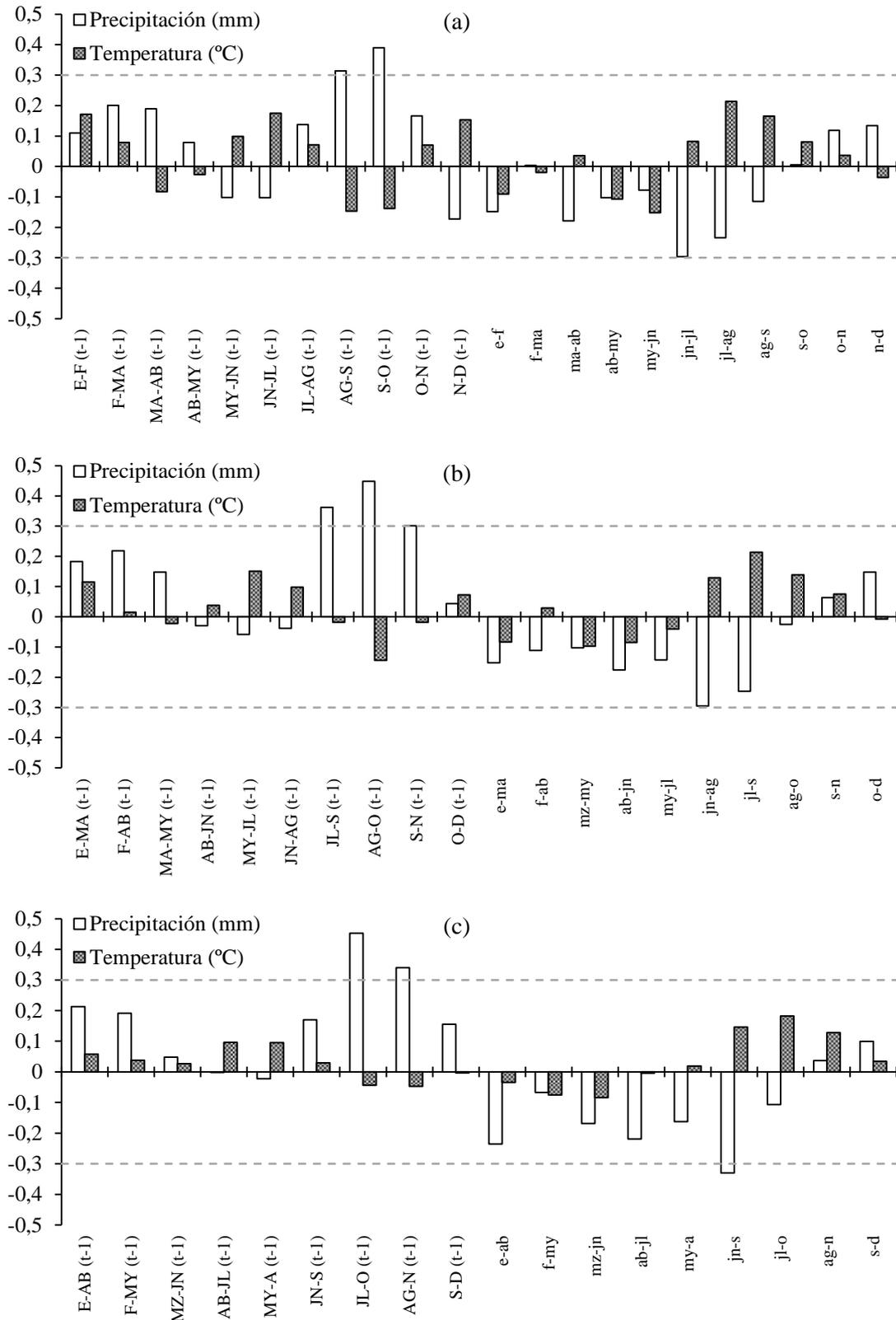


Figura 5.3. Correlación mensual entre la cronología de crecimiento y las series instrumentales de precipitación acumulada y la temperatura media agrupada en (a) dos meses, (b) tres meses y (c) cuatro meses. En el eje de abscisas se representan las agrupaciones de meses del año anterior al crecimiento representado en mayúsculas (t-1) y el año de crecimiento representado en minúsculas (t), y en el eje de ordenadas se representan los valores de correlación.

5.2. Discusión

La cronología resultante de las mediciones realizadas para elaborar este estudio dendroclimatológico consta de apenas 76 años, de los cuales tan solo 44 pueden considerarse representativos de toda la masa. La serie de mayor longitud es de 77 años y el valor más frecuente es de 45 años. Se trata, por lo tanto, de una cronología corta y de una masa relativamente joven.

La tendencia típica de crecimiento de una masa se corresponde con una curva exponencial decreciente a causa de la disminución del crecimiento a medida que avanza la edad y el tamaño del árbol (Fritts 1976; Cook y Kairiukstis, 1991). Esta tendencia de crecimiento se da en masas abiertas, más característico de zonas adeshadas. Sin embargo, la tendencia del crecimiento de la masa de encinas del área de estudio es irregular (figura 4.6). Las encinas del Parque Natural del Montnegre y el Corredor forman masas singulares de encina de una densidad arbórea relativamente alta y sotobosque denso que, a diferencia de los encinares del resto de la Península Ibérica, se gestionan como masas irregulares (Sánchez y Jurgüens, 2015).

A causa de la forma de estas masas, el fenómeno de competencia es bastante influyente en el crecimiento de los individuos que la constituyen. Por otra parte, como ocurre con las superficies bajo cubiertas vegetales más o menos densas, se genera un microclima que mitiga los efectos de las variables climáticas: disminuye la entrada de luz, se amortiguan las diferencias de temperaturas diarias y estacionales y se reduce la velocidad del viento (Gómez Sanz, 2004). En consecuencia, a diferencia de las masas abiertas, las encinas del Montnegre y el Corredor son muy susceptibles a los cambios en la densidad arbórea.

Otro factor determinante en la estructura del monte en el área de estudio es la presencia del ser humano. A causa de su proximidad a las poblaciones circundantes, las masas de *Q. ilex* del Montnegre y el Corredor han sido objeto de aprovechamientos selvícolas durante décadas, principalmente para extracción de leña (Urteaga y Nadal, 2013). Además, tras el éxodo rural que se produjo a mediados del siglo XX y el consiguiente abandono de los montes, se produjo un aumento de biomasa forestal que dio lugar a un aumento en la recurrencia de incendios forestales (Cervera et al., 2015).

Estos factores de perturbación endógenos ($D1_t$) y exógenos ($D2_t$) explican parte de la variabilidad que se puede observar en los resultados obtenidos de los C.V. de los valores de crecimiento agrupados por décadas de la tabla 5.1. A pesar de que la tendencia de crecimiento de la masa es creciente, los valores entre una década y la siguiente fluctúan, es decir, el crecimiento es irregular. El resto de la variabilidad interanual en el crecimiento de la masa de *Q. ilex* en el área de estudio, se explica por la influencia de los factores climáticos.

El clima mediterráneo, como se ha explicado en apartados anteriores, presenta una variabilidad muy acusada de su régimen de precipitación y temperatura. Esto provoca que las plantas que se desarrollan en este tipo de ecosistemas no puedan anticiparse a los eventos climáticos extremos propios de este tipo de clima, ni evitar los efectos que puedan provocar (Valladares et al., 2004). Uno de los efectos que más limita el crecimiento en ecosistemas de tipo mediterráneo es el estrés que se produce a causa del déficit hídrico (Mitrakos 1980). Las plantas responden ante este estrés con cierre estomático, disminución del potencial hídrico y reducción de la transpiración, la fotosíntesis y el crecimiento celular (Kozlowsky & Pallardy, 1997; Delgado et al., 2005). Con el fin de evitarlo, las especies vegetales que se desarrollan en

ecosistemas mediterráneos presentan estructuras fisiológicas que les permiten adaptarse a las características del clima.

La encina es una especie de gran resistencia a la sequía dado que presenta una raíz principal de gran longitud que es capaz de alcanzar niveles freáticos profundos, además de una respuesta estomática rápida que reduce el riesgo de cavitación (Corcuera et al., 2004). Aun así, su crecimiento puede verse afectado por la falta de disponibilidad hídrica en el suelo (Valladares et al., 2004). Estudios previos sobre masas de *Q. ilex* indican un modelo de crecimiento en dos fases, uno en primavera y otro en otoño, que permiten a esta especie adaptarse a los eventos climáticos adversos que se han sucedido en el clima mediterráneo a lo largo de miles de años (Campelo et al., 2007; Paton et al., 2009; Battipaglia et al., 2010; Camarero et al., 2010; Natalini et al., 2016).

Al igual que los resultados de este estudio, varios autores han encontrado una relación positiva con la precipitación de otoño del año anterior y la estación de crecimiento (t-1) hasta la primavera de la estación de crecimiento (t) (Zahner, 1968; García González y Eckstein, 2003; Campelo et al., 2009; Gea-Izquierdo et al., 2011; Natalini et al., 2016). Esta correlación sugiere una reactivación del cámbium durante el otoño, que se da también en otras especies mediterráneas (Campelo et al., 2007; Battipaglia et al., 2010; Camarero et al., 2010; Gea-Izquierdo, 2013). Zhang y Romane (1991) y Campelo et al. (2007) relacionaron la precipitación estival (de agosto a septiembre) con la formación de falsos anillos, lo que sostiene la hipótesis de una segunda actividad vegetativa durante este periodo. Dicha reactivación podría contribuir a un aumento en el almacenamiento de carbohidratos que estarían disponibles para la siguiente estación de crecimiento.

En el área de estudio la precipitación más elevada se da durante el otoño, por lo que el crecimiento diametral de las encinas de la zona depende en gran medida de estas lluvias. En los resultados obtenidos tras el análisis del área de estudio no se dan correlaciones significativas con el crecimiento para primavera. Sin embargo muestra una correlación positiva con la precipitación acumulada del final del verano y principio del otoño del año anterior al crecimiento (t-1), en especial la precipitación de octubre. Esto, como se ha mencionado con anterioridad, se debe a la capacidad de esta especie para acceder a niveles freáticos profundos gracias a la longitud que llegan a alcanzar sus raíces. De esta forma pueden acceder a la reserva de agua acumulada en el suelo tras la precipitación del verano y principios del otoño, y utilizarla durante el siguiente periodo vegetativo (Cartan-Son et al., 1992; Corona et al., 1995; Nabais et al., 1998-1999; Campelo et al., 2007).

Como se ha mencionado en el apartado 5.1.1, los picos de crecimiento más acusados se dan en 1991, 1995 y 2003, siendo el de mayor crecimiento el que se produjo en 1995. Como se puede observar, la precipitación de septiembre y octubre de los años anteriores a estos máximos es abundante, especialmente la precipitación de 1994, año anterior al máximo de crecimiento. Según Campelo et al. (2007), aproximadamente el 50% del crecimiento de los anillos de 1995 se formó durante la segunda etapa de crecimiento. Este crecimiento puede deberse a la precipitación de octubre de 1994. También se puede observar en la figura 5.5 que en el año 1994 se produjo una intensa sequía estival, dado que la precipitación de junio, julio y agosto apenas alcanza los 40 mm en total. Esto afectó negativamente al crecimiento de este año, y dio lugar a un incremento del área basimétrica muy bajo ($5 \text{ cm}^2/\text{año}$), en comparación con el que se produjo al año siguiente ($11 \text{ cm}^2/\text{año}$).

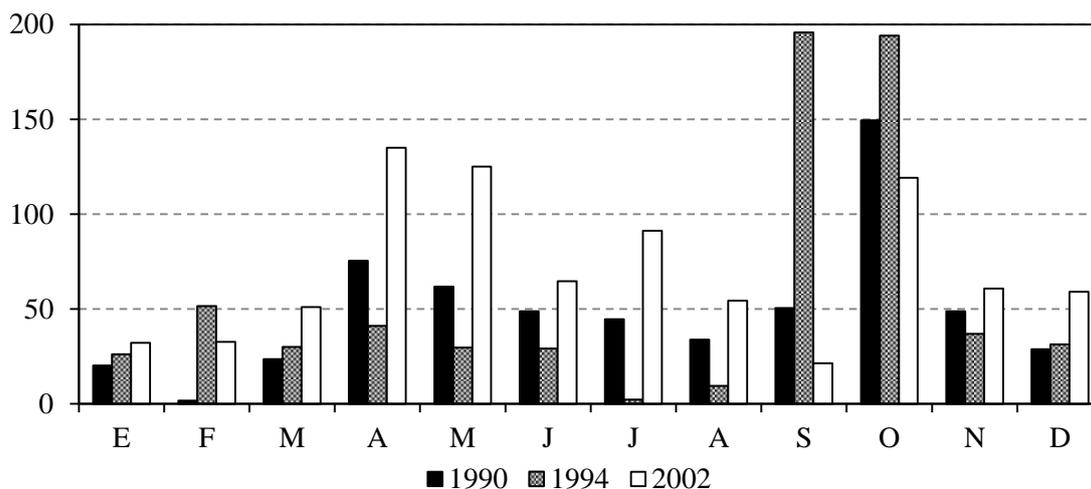


Figura 5.4. Representación de la precipitación mensual de los años anteriores a los máximos de crecimiento entre el periodo de 1967 y 2011.

En otros estudios realizados en zonas cercanas al área de estudio se han encontrado relaciones positivas entre las precipitaciones estivales del año en curso y el crecimiento secundario de las encinas. Corcuera et al. (2004) establece una relación positiva entre el crecimiento secundario de la encina y la precipitación de julio en la Sierra de Santa Cruz-Cubel (Zaragoza). Campelo et al. (2007), en un estudio realizado en el Parc Natural de Ordeola y el Garraf (Barcelona), determina que la precipitación de mayo y agosto tiene una correlación positiva con el crecimiento. Sánchez Humanes et al. (2009), en un estudio realizado en el Parc Natural de Collserolla (Barcelona), estableció que el crecimiento radial de *Q. ilex* está determinado por la precipitación de julio.

Por el contrario, durante el año de crecimiento, existe una correlación negativa con la precipitación de los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año de crecimiento (t). Esta relación puede estar provocada por lluvias torrenciales de gran intensidad, que se corresponden con el fenómeno DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos), más conocida como gota fría (Martín León, 2003). En el clima mediterráneo es frecuente que se den en la misma estación una sequía intensa seguida de una precipitación torrencial que provoca inundaciones y fuertes escorrentías. Esto da lugar a una gran erosión en el suelo sin solucionar el problema del estrés hídrico de las plantas provocado por la sequía (Martín Vide y Liasat Botija, 2000).

Por otro lado, las lluvias torrenciales pueden provocar el anegamiento de las raíces de *Q. ilex* y afectar negativamente a su crecimiento. Dado que se trata de una especie que se muestra sensible al encharcamiento (Montoya Oliver, 1989; Delgado et al., 2005), las precipitaciones de gran intensidad pueden generarle estrés debido a la falta de oxígeno y al exceso de dióxido de carbono y etileno, que se traduce en una disminución del crecimiento celular (Kozlowski, 1997; Pardos, 2004; Delgado et al., 2005).

Un ejemplo claro del efecto negativo que producen las fluctuaciones de la precipitación en clima mediterráneo es el año 1994. Se produjo una intensa sequía estival seguida de una precipitación torrencial durante el otoño que afectó de forma generalizada a todos los bosques de la Península (Lloret and Siscart 1995; Montoya Moreno 1995; Natalini et al., 2016). Esta sequía se ve reflejada en la cronología de este estudio, dado que el crecimiento de 1994 apenas alcanzó los 5 cm²/año, en contraste con el crecimiento del año siguiente (1995) que fue más del

doble. Como se puede observar, la precipitación de 1994 no solucionó los problemas del estrés por la sequía; sin embargo, sí contribuyó al crecimiento del año siguiente dando lugar, como se ha mencionado anteriormente, a un crecimiento muy acusado en 1995.

Estudios previos indican que la precipitación durante el invierno tiene un efecto positivo en el crecimiento mientras que durante el verano se produce un parón vegetativo a causa de estrés hídrico provocado por el aumento de las temperaturas, sin un aumento en la precipitación (Campelo et al., 2007; Gea-Izquierdo, 2013; Natalini et al., 2016). Según los resultados obtenidos no existe evidencia estadística de que la temperatura resulte limitante para el crecimiento puesto que las correlaciones con la temperatura no alcanzan el mínimo de significancia. Por lo tanto, se puede concluir que, en el área de estudio, el factor climático más limitante para el crecimiento de *Q. ilex* es la precipitación, es decir, se trata de una especie bastante sensible a los cambios en el régimen de precipitaciones. Esto concuerda con los resultados obtenidos por otros estudios.

Algunos estudios indican una relación entre la mortalidad de masas de encina de latitudes altas con el cambio climático (Martínez-Vilalta y Piñol, 2002; Linares et al., 2009; Heres et al., 2012; Ruiz-Benito et al., 2013; Gea-Izquierdo et al., 2014; Natalini et al., 2016), debido a que durante los últimos años, en el área de la Península Ibérica afectada de clima mediterráneo se ha producido una serie de cambios: el aumento de la temperatura, la evapotranspiración y las sequías estivales, y una disminución en la humedad relativa (Piñol et al., 1998; Corcuera, 2004). Esto hace que la Península Ibérica se considera una de las áreas más vulnerables de Europa a futuros cambios del clima (Schröter et al., 2005; Albuixech et al., 2012).

Si se cumplen las predicciones sobre el cambio climático, la supervivencia de las masas de *Q. ilex* del Parque Natural del Montnegre y el Corredor, al igual que la del resto de masas forestales del mediterráneo, puede verse comprometida. Sin embargo, no se ha establecido una relación causa-efecto entre la mortalidad de las masas y el cambio climático, por lo que es necesario realizar más estudios que ahonden en la investigación de esta hipótesis.

6. CONCLUSIONES

- 1) La dendrocronología es una herramienta muy útil tanto para la predicción del comportamiento de las especies ante futuros cambios en el clima como para conocer el comportamiento de masas concretas en estudios locales para adecuar la gestión a sus requerimientos ecológicos.
- 2) La encina, como otras especies del género *Quercus*, presenta madera de tipo poro difuso, por lo cual resulta complicado distinguir los anillos que forma.
- 3) Por estar el área de estudio situada en un clima de tipo mediterráneo, las fluctuaciones en el régimen de temperaturas y precipitaciones provocan que la encina genere falsos y dobles anillos que dificultan la datación y sincronización de las muestras.
- 4) La masa de encinas del Montnegre y el Corredor ha sido muy manejada lo largo de los años, principalmente para la extracción de leña, por lo que su formación y su crecimiento se han visto modificados tanto de manera individual en cada espécimen como de forma global por la modificación del paisaje.
- 5) La precipitación es la variable climática que más condiciona el crecimiento de la encina en el área de estudio. Especialmente la precipitación que se da a finales de verano y principios de otoño de la estación anterior al crecimiento (que afecta positivamente) y la que se produce durante el verano de la estación de crecimiento (que influye negativamente).
- 6) El efecto positivo de la precipitación de finales de verano y principios de otoño de la estación anterior de crecimiento (t-1) puede deberse a una reactivación del cámbium que da lugar a un segundo periodo vegetativo que le permite adaptarse a las fluctuaciones en el régimen de precipitación y temperatura típicas del clima mediterráneo.
- 7) La reactivación del cámbium de *Q. ilex* durante el otoño puede deberse a la capacidad de esta especie para alcanzar niveles freáticos profundos que le permiten acceder a las reservas de agua acumuladas durante la estación anterior al periodo de crecimiento.
- 8) El efecto negativo de las precipitaciones durante el verano de la estación de crecimiento puede deberse al fenómeno DANA tras una intensa sequía que, además de no solucionar los problemas de estrés hídrico generado por la sequía, da lugar a un encharcamiento del suelo que provoca el anegamiento de las raíces de *Q. ilex*.
- 9) Los resultados muestran la sensibilidad de *Q. ilex* ante los cambios de la precipitación lo que sugiere que la encina puede verse afectada por los futuros cambios en el régimen de precipitaciones a causa del cambio climático.
- 10) Los resultados obtenidos en este trabajo son coherentes con otros estudios sobre *Q. ilex*, por lo que pueden ser una buena base de conocimiento para el desarrollo de herramientas de gestión de los encinares del Parque Natural del Montnegre y el Corredor.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMET, IM. (2011). Atlas climático ibérico / Iberian climate atlas. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente; Instituto de Meteorología de Portugal.
- Albuixech, J., Camarero, J. J., & Montserrat-Martí, G. (2012). Dinámica estacional del crecimiento secundario y anatomía del xilema en dos *Quercus* mediterráneos que coexisten. *For Syst*, 21, 9-22.
- Allue-Andrade, J. L. (1990). Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación & Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- Alonso, F., Peón, A., Villanueva, O., Rosell, J., Trilla, J., & Obrador, A. (1976). Mapa Geológico de la Hoja nº 393 (Mataró). Mapa Geológico de España E. 1:50 000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. Madrid, España: IDEAL
- Arroyo, J., Carrión, J. S., Hampe, A., & Jordano, P. (2004). La distribución de las especies a diferentes escalas espacio-temporales. En *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (págs. 29-69). Madrid, España, Madrid, España: Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN), Ministerio de Medio Ambiente.
- Banco de Datos de la Naturaleza. (1997-2006). Mapa Forestal (MFE50) E. 1:50 000. Madrid, España: Ministerio de Agricultura y pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Barriendos, M., Creus, J., López, P., Rivas, V., & Serrano, E. (2000). La reconstrucción del clima de época pre instrumental. Santander, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Box, G. E., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2008). *Estadística para investigadores: Diseño, innovación y descubrimiento*. Barcelona, España: Reverté.
- Campelo, F., Gutiérrez, E., Ribas, M., Nabais, C., & Freitas, H. (2007). Relationships between climate and double rings in *Quercus ilex* from northeast Spain. *Canadian journal of forest research*, 37(10), 1915-1923.
- Castroviejo, S., Lainz, M., López González, G., Montserra, P., Muñoz Garmendia, F., Paiva, J., & Villar, L. (1990). Vol. 2: Platanaceae-Plumbaginaceae (partim). En *Flora Ibérica*. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Cervera, T., Garrabou, R., & Tello, E. (2015). Política forestal y evolución de los bosques en Cataluña desde el siglo XIX hasta la actualidad. *Economic History Research*, 11(2), 116-127.
- Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht, Países bajos: Kluwer Academic.
- Corcuera, L., Camarero, J. J., & Gil-Pelegrín, E. (2004). Effects of severe drought on *Quercus ilex* radial growth and xylem anatomy. *Trees*, 18(1), 83-92.
- Cuttelod, A., García, N., Abdul Malak, D., Temple, D., & Katariya, V. (2008). The Mediterranean: a biodiversity hotspot under threat. The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species.

- Delgado, B., Solla, A., & Moreno, G. (2005). Tolerancia de *Pinus pinea*, *Quercus ilex*, *Q. suber*, *Q. pyrenaica* y *Castanea sativa* a la sal, en combinación con diferentes regímenes hídricos. Congresos forestales.
- Diputació de Barcelona. Servei de Parcs Naturals. (20 de julio de 1989). Pla Especial del Montnegre i el Corredor (Serralada Marina). Barcelona, Cataluña, España.
- Diputació de Barcelona. Servei de Parcs Naturals. (2015). Memòria 2014. Barcelona, España.
- Diputación de Barcelona. (s.f.). Parcs de Catalunya. Recuperado el 27 de enero de 2017, de Xarxa de Parcs Naturals: parcs.diba.cat/es.
- Dorado Liñan, I., Büntgen, U., González-Rouco, F., Zorita, E., Montavez, J. P., Gómez-Navarro, J. J.,... Gutiérrez, E. (2012). Estimating 750 years of temperature variations and uncertainties in the Pyrenees by tree ring reconstructions and climate simulations. *Climate of the Past*, 8(3), 919-933.
- España. Acuerdo GOV/105/2014, de 4 de noviembre, por el que se declaran zonas especiales de conservación de la región biogeográfica mediterránea, integrantes de la red Natura 2000, se aprueba su instrumento de gestión, y se autoriza al consejero de Territorio y Sostenibilidad para poder actualizar los anexos 2, 3 y 4 del Acuerdo GOV/176/2013, por el que se declaran las zonas especiales de conservación de la región biogeográfica alpina, integrantes de la red Natura 2000, y se aprueba su instrumento de gestión. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 6 de noviembre de 2014, num.6744, pp. 6264-6285.
- España. Decreto 328/1992, de 14 de diciembre, por el que se aprueba el Plan de espacios de interés natural. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 1 de marzo de 1993, num.1714, pp. 6264-6285.
- España. Ley 12/1985 de 13 de junio, de espacios naturales. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 28 de junio de 1985, num. 556, pp. 2113-2119.
- España. Ley 42/2007 de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad. *Boletín Oficial del Estado*, 15 de diciembre de 2007, num. 299, pp. 51275-51327.
- FAO. (2011). *State of Mediterranean Forests (SoMF)*. Concept paper. Roma, Italia: FAO.
- FAO-UNESCO. (1980). Volumen V. Europe. *Soil map of the world E*. 1:5 000 000. París, Francia: FAO-UNESCO.
- Fernández-González, F., Loidi, J., & Moreno, J. C. (2005). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente.
- Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. Londres, Reino unido: Academic Press.
- Fritts, H. C., & Swetnam, T. W. (1989). Dendroecology, a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Advances in Ecological Research*, 19, 111-188.

- Gea-Izquierdo, G., Martín-Benito, D., Charubini, P., & Cañellas, I. (2009). Climate-growth variability in *Quercus ilex* L. west Iberian open woodlands of different stand density. *Annals of Forest Science*, 66(8), 802.
- Gea-Izquierdo, G., Viguera, B., Cabrera, M., & Cañellas, I. (2014). Drought induced decline could portend widespread pine mortality at the xeric ecotone in managed Mediterranean pine-oak woodlands. *Forest ecology and management*, 320, 70-82.
- Génova, M. (1994). Dendroecología de *Pinus nigra* Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco y *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central y en la Serranía de Cuenca (España). Universidad Autónoma de Madrid, 420.
- Gómez, S. V. (2004). Cubiertas forestales y respuesta microclimática. *Forest Systems*, 14(4), 84-100.
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A., Klok, E. J., & Jones, P. D. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D20).
- Holmes, R. L. (1983). Program COFECHA user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research. Tucson, Arizona, Estados Unidos: The University of Arizona.
- Hughes, M. (2002). Dendrochronology in climatology. *Dendrochronology*, 20(1-2), 95-116.
- López González, G. A. (2010). Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- López-Cepero Bermúdez, E., Blanco, R., & Sánchez González, M. (2013). Diagrama de Manejo de la Densidad para *Quercus ilex* subsp. *ilex* en el Parque Natural del Montnegre. Proyecto de Fin de Grado, Universidad de Lleida, Escuela Técnica y Superior de Ingeniería Agraria, Lleida, España.
- Marín Vide, J., & Llasat Botija, M. (2000). Las precipitaciones torrenciales en Cataluña. *Serie Geográfica*, 9, 17-26.
- Martín León, F. (2003). Las gotas frías/DANAs: ideas y conceptos básicos. Madrid, España: Instituto Nacional de Meteorología; Ministerio de Medio Ambiente.
- Ministerio de Agricultura y pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (s.f.). Biodiversidad. Recuperado el 25 de febrero de 2017, de Ministerio de Agricultura y pesca, Alimentación y Medio Ambiente: www.mapama.gob.es.
- Ministerio de Fomento. (s.f.). Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Recuperado el 27 de enero de 2017, de www.cnig.es.
- Minuartia. (2001). Estudi de base per a la revisió del Pla especial del Parc Natural del Montnegre i el Corredor. Medi físic i fauna. Informe inédito. Barcelona, España.
- Mitrakos, K. (1980). A theory for Mediterranean plant life. *Acta Oecologica-Oecologia Plantarum*, 1(3), 245-252.

- Monfort Bague, I. P. (2014). Modelización del crecimiento diametral del encinar (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) en el Parque Natural del Montnegre y el Corredor. Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Lleida, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Lleida, España.
- Montoya Oliver, J. M. (1989). Encinas y Encinares. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Natalini, F., Alejano, R., Vázquez-Piqué, J., Cañellas, I., & Gea-Izquierdo, G. (2016). The role of climate in the widespread mortality of holm oak in open woodlands of Southern Spain. *Dendrocronología*, 38, 51-60.
- National Centres for Environmental Information. (s.f.). Tree-Ring Data Bank. Recuperado el 25 de febrero de 2017, de National Climatic Data Center (NCDC): www.ncdc.noaa.gov.
- Noton, D. A., & Ogden, J. (1990). Problems with the use of tree rings in the study of forest population dynamics. En E. R. Cook, & L. A. Kairiukstis, *Methods of Dendrochronology* (págs. 284-288). Boston, Massachusetts, Estados, Unidos: Kluwer Academic.
- Oldeman, R. (1990). *Forest: Elements of silvology*. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio Climático 2014. Informe de síntesis*. Ginebra, Suiza: IPCC.
- Patón, D., García-Herrera, R., Cuenca, J., Galavis, M., & Roig, F. (2009). Influence of climate on radial growth of holm oaks (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) from SW Spain. *Geochronometria*, 34(1), 49-56.
- Penareda Clopés, J. M., Pintó, J., & Romo, A. (2001). Els arbres espontais del Montnegre i el Corredor. *Monografies III Trobada d'Estudiosos del Montnegre i el Corredor*, 32, 105-110. Barcelona, España: Diputació de Barcelona.
- Pita, P. A. (1991). Potencialidad de las estaciones forestales. Curvas de calidad. Seminario sobre Inventario y Ordenación de Montes, 1, 18-39. Valsaín, España: Ministerio de Agricultura y pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Pretzsch, H. (2009). *Forest dynamics, growth and yield. From Measurement to Model*. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. Obtenido de R Foundation for Statistical Computing: www.R-project.org.
- Rivas-Martínez, S. (2007). Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación en España: memoria del mapa de vegetación potencial de España. Servicio de Publicaciones de la Universidad.
- Rodá, R., Retana, J., García, C. A., & Bellot, J. (1999). *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- Rozas, V. (2005). Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Ann. For. Sci.*, 62, 209-218.

- Ruiz de la Torre, J. (1986-2002). Mapa Forestal de Espala (MFE200) E. 1:200 000. Madrid, España: Ministerio de Agricultura y pesca, Alimentación y Medio Ambiente y Universidad Politécnica de Madrid.
- Ruiz de la Torre, J. R., & Ruiz del Castillo, J. R. (1977). Metodología y codificación para el análisis de la vegetación española. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Sánchez Humanes, B., Espelta Morral, J. M., Camarero Martínez, J. J., & Sabaté Jorba, S. (2009). Patrones reproductivos en *Quercus mediterráneos*: Efecto del clima, del incremento de sequía y del resalveo sobre la producción de bellotas. Congresos- Carga Final.
- Sánchez-González M., Jürgens J. (2015) Herramientas de ayuda a la gestión de los encinares del PN del Montnegre i el Corredor. III Trobada d'Estudiosos de la Serralada Litoral Central i VII del Montnegre i el Corredor. Barcelona, España.
- Schweingruber, F. H. (1996). Tree rings and environment: dendroecology. Berna, Suiza: Paul Haupt AG Bern.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF). (s.f.). Sexto Congreso Forestal Español. Montes: servicios y desarrollo. Recuperado el 13 de marzo de 2017, de www.congresoforestal.es/index.php?men=400.
- Stokes, M. A., & Smiley, T. L. (1968). An Introduction to Tree-Ring Dating. Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- The Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). (s.f.). KNMI Climate Explorer. Recuperado el 27 de febrero de 2017, de climexp.knmi.nl.
- Urteaga, L., & Nadal, F. (2013). Los aprovechamientos forestales en las sierras del Corredor y el Montnegre a mediados del siglo XIX. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles.
- Valladares, F., Vilagrissa, A., Ogaya, J., Camarero, J. J., Corcuera, L., Sisó, S., & Gil-Pelegrín, E. (2004). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de sequía. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente. 163-190)
- Villanueva, J. A. (2005). Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007). Madrid, España: Ministerio de Agricultura, pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Wigley, T. M., Briffa, K. R., & Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time series, with application in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of climate and Applied Meteorology*, 23(2), 201-213.
- Wilson, K., & White, D. (1986). The anatomy of wood: its diversity and variability. Londres, Reino Unido: Stobart & Son Ltd.
- Zhang, S. H., & Romane, F. (1991). Diameter growth of *Quercus ilex* L. and the interannual variability of climatic characteristics. *Annales des Sciences Forestiers*, 48, 225-234.

ANEXO 1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Tabla 1. Caracterización del año medio del Parque Natural de Montnegre i el Corredor.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de KNMI Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl>).

RÉGIMEN TÉRMICO	Mes más cálido	Julio / 22,3 °C
	Mes más frío	Enero / 6,6 °C
	Temperatura media de las mínimas del mes más frío	Enero / 2,2 °C
	Temperatura media de las máximas del mes más cálido	Julio / 27,8 °C
	Oscilación media anual de la temperatura	25,6 °C
	T. media de las máximas en verano (Jl, Ag y S)	26,4 °C
	Máxima absoluta del periodo de observación	Julio / 34,8 °C
	Mínima absoluta del periodo de observación	Febrero / -6,2 °C
	Meses con temperatura media inferior a 6 °C	Ninguno
	Meses de helada probable	4 (E, F, Ma y D)
Meses de helada segura	Ninguno	
RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO	Mes más lluvioso	Octubre / 83,0 mm
	Mes más seco	Julio / 26,7 mm
	Precipitación en invierno (E, F y Ma)	138,2 mm (21,51 %)
	Precipitación en primavera (Ab, My y Jn)	164,0 mm (25,54 %)
	Precipitación en verano (Jl, Ag y S)	139,9 mm (21,83 %)
	Precipitación en otoño (O, N y D)	202,6 mm (31,12 %)
	Estación más lluviosa	Otoño
Estación más seca	Invierno	
PERIODO VEGETATIVO	Meses de parón vegetativo por frío ($T < 6\text{ °C}$)	Ninguno
	Meses de parón vegetativo por aridez ($P < 2T$)	2 (Jl. y Ag.)
	Meses de actividad vegetativa plena	10 (E, F, Ma, Ab, My, Jn, S, O, N y D)

Tabla 2. Balance hídrico del Parque Natural de Montnegre i el Corredor.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de KNMI Climate Explorer (<https://climexp.knmi.nl>).

Mes	T. media (°C)	ETP(mm)	Precipitación (mm)	Superávit (mm)	Déficit (mm)
Enero	6,59	15,40	44,43	29,03	0,00
Febrero	7,26	17,67	40,77	23,10	0,00
Marzo	9,54	32,37	52,96	20,59	0,00
Abril	11,59	46,05	59,05	13,00	0,00
Mayo	15,35	77,42	59,79	0,00	17,64
Junio	19,28	108,07	45,21	0,00	62,86
Julio	22,31	134,18	26,73	0,00	107,45
Agosto	22,10	124,00	42,77	0,00	81,23
Septiembre	19,14	88,26	70,36	0,00	17,91
Octubre	15,04	57,76	84,49	26,74	0,00
Noviembre	10,19	28,32	65,66	37,34	0,00
Diciembre	7,27	17,08	52,41	35,33	0,00

ANEXO 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS SERIES INDIVIDUALES UTILIZADAS PARA CREAR LA CRONOLOGÍA BÁSICA

Nombre de la parcela	Coordenadas UTM		Parcela						Muestra				
	X	Y	Altitud (m)	Pendiente (%)	Nº pies por hectárea	Área basimétrica total (m ²)	Diámetro medio cuadrático (cm)	Altura dominante (m)	Nº radios medidos	Diámetro normal (cm)	Año inicial	Año final	Años
P1	463913	4611730	617,95	31,53	2355,49	28,37	12,73	10,18	1	19,9	1940	2011	71
P3	464073	4611850	626,38	57,82	2641,97	24,94	10,82	9,21	1	9,4	1964	2011	47
P13	467322	4612200	572,10	65,20	1145,92	33,37	19,42	14,47	2	18,3	1935	2011	76
P28	450426	4608240	324,37	34,05	1145,92	30,35	18,14	14,53	2	19,4	1966	2009	43
P29	450376	4608520	291,93	40,61	1496,06	28,11	15,92	12,97	2	22,3	1946	2011	65
P35	450944	4608080	308,37	45,72	954,93	12,04	12,73	9,09	2	15,6	1954	2011	57
P42	463664	4613200	487,91	26,14	1623,38	30,42	14,96	12,11	1	14,9	1966	2010	44
P50	460382	4614400	335,90	54,88	1846,20	37,23	15,92	12,32	2	16,7	1973	2011	38
P51	460616	4614430	302,52	47,16	1878,03	47,28	17,83	14,78	2	16	1971	2011	40
P67	468235	4613630	665,22	51,70	2864,79	35,56	12,41	10,59	2	16,6	1955	2010	55
P68	468165	4613855	663,24	27,08	2133,00	28,78	12,70	8,50	2	15,4	1963	2011	48
P71	469054	4613120	515,38	55,74	1909,86	28,40	13,69	10,93	1	8,8	1962	2006	44
P83	458329	4606670	469,48	18,24	1687,04	22,39	12,73	10,27	2	18,5	1969	2011	42
P86	454909	4608040	437,20	45,77	1368,73	24,23	15,28	11,29	2	20,7	1959	2011	52
P92	457070	4607940	441,23	59,33	1305,07	38,43	19,42	14,57	2	21,3	1970	2011	41
P98	468747	4613270	502,54	46,48	2323,66	18,65	10,19	8,46	2	13,7	1973	2011	38
13d	467337	4612290	577,12	30,09	2100,85	25,41	12,41	9,60	1	11,7	1951	2003	52
BON/02	455805	4610940	326,90	28,75	891,00	19,75	16,08	10,80	2	12,2	1976	2011	35
BON/03	455760	4610850	342,07	50,29	796,00	20,19	16,59	12,00	2	19,6	1970	2011	41

ANEXO 3. VALORES DE CORRELACIÓN POR AGRUPACIONES DE MESES

Agrupación	Meses	Precipitación (t-1)	Precipitación (t)	Temperatura media (t-1)	Temperatura media (t)
1 mes	E	0,04	-0,26	0,12	-0,16
	F	0,13	0,05	0,14	0,01
	Mz	0,21	0,00	-0,01	-0,04
	Ab	0,11	-0,24	-0,13	0,11
	My	0,00	0,09	0,06	-0,24
	Jn	-0,20	-0,20	0,11	-0,03
	Jl	0,09	-0,19	0,20	0,19
	Ag	0,11	-0,09	-0,08	0,17
	S	0,29	-0,08	-0,17	0,11
	O	0,30	0,07	-0,07	0,03
	N	-0,10	0,13	0,20	0,02
	D	-0,13	0,08	0,03	-0,08
2 meses	E-F	0,11	-0,15	0,17	-0,09
	F-Mz	0,20	0,00	0,08	-0,02
	Mz-Ab	0,19	-0,18	-0,08	0,04
	Ab-My	0,08	-0,10	-0,03	-0,11
	My-Jn	-0,10	-0,08	0,10	-0,15
	Jn-Jl	-0,10	-0,30	0,17	0,08
	Jl-Ag	0,14	-0,23	0,07	0,21
	Ag-S	0,31	-0,11	-0,15	0,17
	S-O	0,39	0,01	-0,14	0,08
	O-N	0,17	0,12	0,07	0,04
	N-D	-0,17	0,13	0,15	-0,04
	3 meses	E-Mz	0,18	-0,15	0,12
F-Ab		0,22	-0,11	0,02	0,03
Mz-My		0,15	-0,10	-0,02	-0,10
Ab-Jn		-0,03	-0,18	0,04	-0,09
My-Jl		-0,06	-0,14	0,15	-0,04
Jn-Ag		-0,04	-0,30	0,10	0,13
Jl-S		0,36	-0,25	-0,02	0,21
Ag-o		0,45	-0,03	-0,14	0,14
S-N		0,30	0,06	-0,02	0,08
O-D		0,04	0,15	0,07	-0,01
4 meses	E-Ab	0,21	-0,24	0,06	-0,03
	F-My	0,19	-0,07	0,04	-0,08
	Mz-Jn	0,05	-0,17	0,03	-0,08
	Ab-Jl	0,00	-0,22	0,10	0,00
	My-Ag	-0,02	-0,16	0,10	0,02
	Jn-S	0,17	-0,33	0,03	0,15
	Jl-O	0,45	-0,11	-0,04	0,18
	Ag-N	0,34	0,04	-0,05	0,13
S-D	0,16	0,10	0,00	0,03	

Agrupación	Meses	Precipitación (t-1)	Precipitación (t)	Temperatura media (t-1)	Temperatura media (t)
5 meses	E-My	0,19	-0,19	0,07	-0,12
	F-Jn	0,10	-0,14	0,07	-0,07
	Mz-Jl	0,06	-0,21	0,08	-0,02
	Ab-Ag	0,03	-0,24	0,06	0,04
	My-S	0,12	-0,20	0,04	0,05
	Jn-O	0,34	-0,20	0,00	0,14
	Jl-N	0,36	-0,04	0,03	0,17
	Ag-D	0,19	0,08	-0,03	0,09
6 meses	E-Jn	0,11	-0,24	0,09	-0,11
	F-Jl	0,11	-0,18	0,11	-0,01
	Mz-Ag	0,09	-0,22	0,05	0,03
	Ab-S	0,15	-0,26	0,01	0,06
	My-O	0,28	-0,14	0,02	0,05
	Jn-N	0,27	-0,14	0,05	0,13
	Jl-D	0,21	0,02	0,03	0,13
7 meses	E-Jl	0,12	-0,27	0,13	-0,05
	F-Ag	0,13	-0,19	0,08	0,03
	Mz-S	0,19	-0,24	0,01	0,05
	Ab-O	0,29	-0,20	-0,01	0,06
	My-N	0,22	-0,09	0,06	0,05
	Jn-D	0,13	-0,06	0,06	0,10
8 meses	E-Ag	0,13	-0,28	0,10	0,00
	F-S	0,23	-0,22	0,04	0,05
	Mz-O	0,32	-0,20	-0,01	0,05
	Ab-N	0,25	-0,16	0,03	0,07
	My-D	0,11	-0,03	0,07	0,03
9 meses	E-S	0,23	-0,30	0,06	0,02
	F-O	0,34	-0,17	0,02	0,05
	Mz-N	0,28	-0,16	0,03	0,05
	Ab-D	0,14	-0,09	0,04	0,05
10 meses	E-O	0,33	-0,24	0,04	0,02
	F-N	0,30	-0,13	0,05	0,05
	Mz-D	0,18	-0,10	0,03	0,04
11 meses	E-N	0,29	-0,21	0,07	0,03
	F-D	0,21	-0,08	0,06	0,04
12 meses	Anual	0,21	-0,15	0,07	0,01

ANEXO 4. INFORME TÉCNICO DEL ESTUDIO

I. Condiciones técnicas específicas del estudio

- Conocimientos sobre dendrocronología, climatología, fisiología vegetal, ecología, flora, vegetación, geología, edafología, estadística y gestión de espacios protegidos.
- Manejo de equipo de laboratorio: Lupa de aumento y mesa de mediciones
- Manejo de software COFECHA
- Manejo de software TSAP-WIN
- Manejo de software R
- Manejo de Microsoft Office (Excel)
- Capacidad de análisis y resolución de problemas

II. Fases para la realización del estudio

La elaboración del estudio puede dividirse en las siguientes etapas.

- Fase 1. Contacto con el INIA. Planificación y delimitación del alcance del estudio
- Fase 2. Comprensión del estudio. Recopilación de información y asimilación de la metodología.
- Fase 3. Toma de datos en laboratorio
- Fase 4. Tratamiento y análisis de los datos obtenidos en laboratorio.
- Fase 5. Redacción del trabajo

III. Descripción de tareas

Fase 1. Contacto con el INIA. Planificación y delimitación del alcance del estudio

Tras establecer la colaboración con el INIA, se determinaron los objetivos del estudio, así como el alcance del mismo. Se decidió elaborar un estudio dendrocronológico a partir de rodajas de encina obtenidas en el año 2012 para la elaboración del modelo de calidad de la estación. Estos datos se utilizarían para la creación de un modelo dinámico integrado de crecimiento y producción para los encinares del Parque Natural del Montnegre y el Corredor. Sin embargo, se decidió abarcar únicamente el estudio dendrocronológico, por adaptarse mejor a los objetivos un Trabajo de Fin de Grado.

Fase 2. Comprensión del estudio. Recopilación de información y asimilación de la metodología.

Durante esta fase, Mariola Sánchez e Isabel Dorado, proporcionaron la información necesaria para comprender el área de estudio y la metodología de trabajo, respectivamente. La información sobre el área de estudio permitió comprender el contexto del área de estudio. Por otro lado la información sobre la metodología permitió aprehender los detalles de la realización de un estudio dendrocronológico

Fase 3. Toma de datos en laboratorio

La toma de datos se realizó en laboratorio en el INIA-CIFOR mediante una mesa de mediciones. Se llevó a cabo el análisis de 50 muestras, registrando las medidas en forma de series mediante software TSAP-WIN. Se midieron dos radios por cada muestra y se revisaron tres veces para asegurar que se hubiesen hecho correctamente.

Gastos fijos

Ud	Concepto	Rendimiento	Precio unitario (€/ud)	Importe (€)
año	Suministros de agua, luz y gas	0,08	1500,00	120,00
año	Internet	0,08	240,00	19,20
Total				139,20

Presupuesto total del estudio

En base a los precios unitarios disponibles en la web de TRAGSA (www.tragsa.es) se han calculado el coste de la realización de este trabajo.

Concepto	Importe (€)
Mano de obra	11939,40
Maquinaria	99,00
Gastos fijos	139,20
Total bruto	12177,60
IVA (21%)	2557,296
Total neto	14734,90

El coste del estudio asciende a 14.734,90 (CATORCE MIL SETECIENTOS TRENTA Y CUATRO EUROS CON NOVENTA CÉNTIMOS).

El Parque Natural del Montnegre y el Corredor forma parte de la Red de Espacios Naturales protegidos por la Diputación de Barcelona. Para facilitar su ordenación, bajo un convenio entre el INIA y la Diputación de Barcelona, este estudio pretende contribuir a la elaboración de herramientas de gestión mediante un estudio dendroclimatológico de las encinas del parque.

El **objetivo** general de este Trabajo de Fin de Grado es determinar la influencia del clima en el crecimiento de los encinares del Parque Natural del Montnegre y el Corredor.

M E T O D O L O G Í A

MUESTREO

- Diseño de las parcelas
- Selección de las muestras (un árbol dominante por parcela)

OBTENCIÓN DE LA CRONOLOGIA

- Datación y sincronización
- Selección de muestras fiables
- Estandarización

ESTIMACIÓN DE LA SERIE REPRESENTATIVA

- Estadístico EPS

ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN

- Correlación mensual
- Correlación estacional

R E S U L T A D O S Y D I S C U S I O N

Cronología básica

La cronología representativa de la masa de encinas del área de estudio comprende un periodo de 44 años (1967-2011) con un crecimiento irregular de una década a otra.

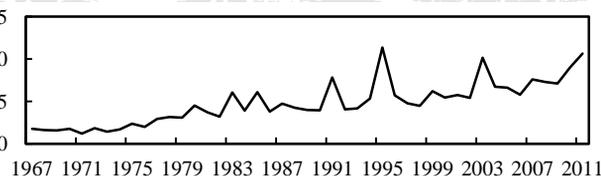


Figura 1. Representación de la cronología de crecimiento medio de la masa de encinas (*Quercus ilex subsp. ilex*) en función del incremento del área basimétrica en $cm^2/año$.

Se trata de una masa relativamente joven afectada por:

- Su estructura cerrada que mitiga los efectos del clima y es muy sensible a los cambios en ella.
- Acción humana: extracción de leña y modificación del paisaje.

Correlaciones entre el crecimiento y el clima

Correlaciones mensuales

- Existe correlación significativa positiva entre el crecimiento y la precipitación de septiembre y octubre (fig. 2 (a))

Correlaciones estacionales

- Existe correlación significativa positiva entre el crecimiento y la precipitación de julio-agosto-septiembre-octubre (0,45) y correlación significativa negativa con la precipitación de junio-julio-agosto-septiembre (fig. 2 (b))

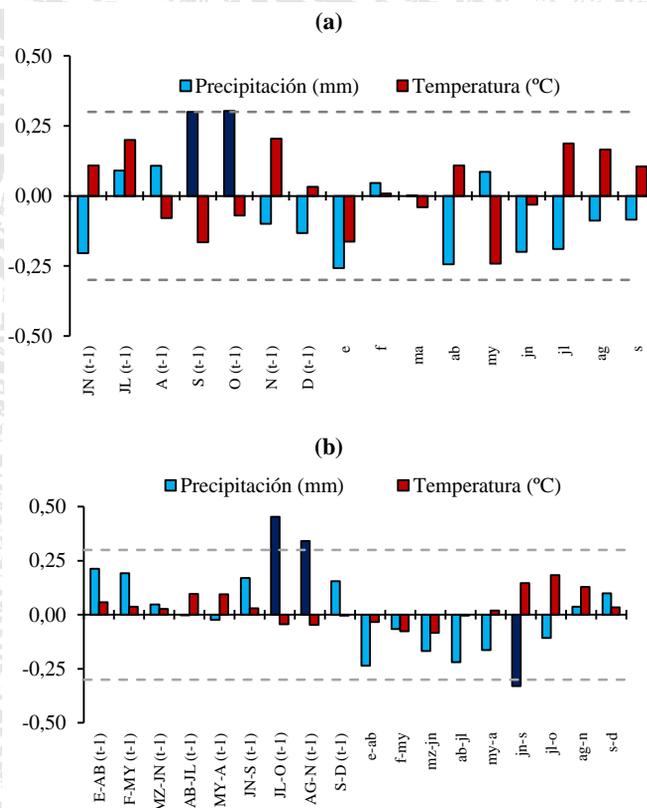


Figura 2. Correlación mensual (a) y estacional (b) entre la cronología de crecimiento y las series instrumentales de precipitación y temperatura para el año anterior al crecimiento representado en mayúsculas (t-1) y el año de crecimiento representado en minúsculas (t).

C O N C L U S I O N E S

- La precipitación es la variable climática que más condiciona el crecimiento en el área de estudio.
- La precipitación de final de verano y principio de otoño del año anterior al crecimiento tiene un efecto positivo. Esto puede deberse a la recarga de los acuíferos.
- Las precipitaciones durante el verano de la estación de crecimiento tienen un efecto negativo. Esto puede deberse al fenómeno DANA; tras una intensa sequía se producen lluvias torrenciales que encharcan el suelo.
- Los resultados muestran que la encina del área de estudio podría mostrarse sensible a posibles cambios en el régimen de precipitaciones a causa del cambio climático