

INFLUENCIA DEL CLIMA Y LA HUMEDAD DE SUELO EN LA FENOLOGÍA DEL CRECIMIENTO SECUNDARIO DE ENCINA (*QUERCUS ILEX* L. SUBSP. *BALLOTA* [DESF.] SAMP.) EN UN GRADIENTE CLIMÁTICO PENINSULAR

Javier Vázquez- Piqué¹, Reyes Alejano Monge¹, Raquel Benavides Calvo⁴, Daniel Martín Pérez¹, Celia López-Carrasco⁵, Rocío Macías Fernández¹, M^a Arantzazu González-Pérez¹, Sven Mutke Regneri³ y Sonia Roig Gómez²

¹ Dpto. Ciencias Agroforestales, Campus de La Rábida, Universidad de Huelva. 21819-PALOS DE LA FRONTERA (Huelva, España). Correo electrónico: jpique@uhu.es

² ECOGESFOR, GI Ecología y Gestión Forestal Sostenible, ETSI Montes. c/Ramiro de Maeztu s/n. 28040-MADRID (España)

³ CIFOR-INIA, Carretera de A Coruña km. 7,5. 28040-MADRID (España)

⁴ MNCN-CSIC. c/ Serrano 115 dup. 28006-MADRID (España)

⁵ Centro de Investigaciones Agropecuarias "Dehesón del Encinar". JCCM. 45560-OROPESA (Toledo, España)

Resumen

La cuantificación del crecimiento de las especies forestales es fundamental para desarrollar una selvicultura basada en criterios técnicos y científicos. El análisis de cómo influyen los factores edáficos y climáticos en dicho crecimiento posibilita el paso de modelos de crecimiento estrictamente empíricos a modelos con un mayor componente ecofisiológico, permitiendo un estudio en mayor detalle de las relaciones suelo-clima-planta. Este conocimiento facilita una posterior incorporación a estos modelos de variables estacionales tomados de sensores remotos y estaciones meteorológicas. En este trabajo se analiza la fenología del crecimiento secundario de encina en 3 parcelas situadas en estaciones forestales contrastadas: Villanueva de los Castillejos (Huelva), Olivenza (Badajoz) y El Dehesón (Toledo). La toma de datos de crecimiento se ha realizado en el periodo 2008-2010 con periodicidad mensual, mediante dendrómetros de banda en 60-100 individuos por parcela. Las parcelas disponen de estaciones meteorológicas "in situ". La encina muestra en las zonas analizadas un patrón de crecimiento con máximo primaveral, parada estival por falta de recursos hídricos, crecimiento o hidratación otoñal y parada vegetativa invernal. Existen diferencias de crecimiento entre zonas y el patrón de crecimiento varía según la zona, con parada estival más temprana en Huelva y más tardía en Toledo. La temperatura media de las mínimas, la humedad relativa, la temperatura media y la humedad de suelo superficial y media en los primeros 40 cm del perfil son las variables edafoclimáticas que mejor expresan las diferencias en el patrón fenológico interanual dentro de cada zona.

Palabras clave: *Dendrómetros de banda, Modelo de crecimiento, Temperatura del suelo, Temperatura del aire, Humedad relativa*

INTRODUCCIÓN

La encina (*Quercus ilex* subs. *ballota* (Desf.) Samp) es la especie forestal ibérica más característica, ocupando el primer lugar de las especies arbóreas en cuanto a superficie con un total de 3.623.037 ha (DGMN, 1997), lo que supone un 54,7% del total de la superficie ocupada por frondosas y un 28,34% del total de la superficie arbolada. En general son formaciones muy intervenidas por el hombre debido al interés que estos montes han tenido y aún hoy tienen como fuente de alimento de hombre y ganado (bellota y pasto) o combustible (leña). La encina es además la especie protagonista de uno de los sistemas agroforestales más conocidos en el mundo y muy característico de los paisajes del suroeste peninsular: la dehesa española o el montado portugués.

Dada su importancia ecológica, económica y ambiental, el conocimiento detallado del crecimiento de esta especie y su relación con factores ambientales tiene una gran importancia a distintos niveles: (1). El conocimiento del crecimiento de los bosques y su evolución en el tiempo es la base para la planificación de las actuaciones selvícolas en los mismos en el marco de una gestión sostenible; (2). Permite mejorar las funciones crecimiento-clima presentes en los modelos ecosistémicos y de dinámica forestal más generales, que normalmente son empíricos. (3) Permite profundizar y adquirir conocimientos más precisos del papel que juegan estas masas como fijadoras de CO₂ atmosférico y su evolución estacional y (4) Permite realizar simulaciones de crecimiento de las especies frente a distintos escenarios de cambio climático.

Los estudios realizados para profundizar en las relaciones crecimiento-factores ambientales al nivel de detalle y a escala intra-anual son prácticamente inexistentes en esta especie. La aproximación tradicionalmente usada es la dendroclimática que, basada en la relación entre parámetros climáticos de fácil medición como temperatura y precipitación y la anchura de los anillos de crecimiento, tiene una escala mínima anual. En este tipo de estudios los factores climáticos son normalmente recogidos en estaciones meteorológicas distantes de las masas estudiadas y los factores edáficos no son tenidos en cuenta debido a la falta de registros continuos y a la falta de caracteriza-

ción suficiente de los suelos. Por ello, en ocasiones, el simple análisis de anillos de crecimiento no tiene sensibilidad suficiente para detectar la influencia de los factores ambientales en el crecimiento (DESLAURIERS et al., 2003). Una aproximación más detallada al análisis clima-crecimiento radica en la utilización de dendrómetros de lectura manual, dispositivos que permiten conocer el crecimiento del individuo a intervalos regulares. Ello posibilita trabajar a escalas temporales inferiores al año y proporciona una mayor sensibilidad en el análisis. Esta aproximación es relativamente frecuente por su reducido coste (COSTA et al., 2003; PEREIRA DA SILVA et al., 2002).

En este artículo se realiza un análisis, con datos de dos periodos vegetativos completos, de la variabilidad inter e intraregional e intraanual del crecimiento diametral de la encina mediante el análisis de datos de dispositivos experimentales situados en Villanueva de los Castillejos (Huelva), Olivenza (Badajoz) y Oropesa (Toledo).

MATERIAL Y MÉTODOS

Parcelas de estudio y dispositivo experimental

El estudio se ha desarrollado en tres parcelas situadas en Oropesa (Toledo), Villanueva de los Castillejos (Huelva) y Olivenza (Badajoz), en adelante TO, HR y BA, respectivamente. Las características más destacadas de las 3 parcelas se indican en la Tabla 1. El dispositivo experimental es similar en las tres parcelas. Los dispositivos instalados para la medición del crecimiento son dendrómetros de banda de aluminio, de fabricación propia, situados en el tronco en una zona sin deformaciones y a una altura próxima a 1,3 m, siempre por debajo de la cruz. Estos dendrómetros se instalaron en 55 individuos de la parcela de HR en Febrero de 2006, 61 en BA en Marzo de 2008 y en 61 individuos en TO en Diciembre de 2007, en pies que presentasen un buen estado fitosanitario y troncos sin excesivas deformaciones. Las mediciones de crecimiento se realizan con periodicidad mensual con calibre digital con precisión de 0,01 mm. Se analiza en este estudio el periodo de mediciones común a las 3 parcelas que, debido al periodo de ajuste de las bandas dendrométricas, transcurre de mayo de 2008 a diciembre de 2010.

Características	Parcela		
	Oropesa (Toledo)	Villanueva de los Castillejos (Huelva)	Olivenza (Badajoz)
Superficie (ha)	5,0	2,9	0,7
Altitud (m)	330	175	340
Temperatura media anual (°C)	15,1	16,5	15,5
Precipitación anual (mm)	572	560	490
Clima (ALLUÉ, 1990)	IV(VI)1	IV4	IV4
Relieve	Ligeramente ondulado	Ondulado	Ondulado
Densidad (pies·ha ⁻¹)	27	73	17
Diámetro medio cuadrático (cm)	47,0	31,9	43,8
Diámetro medio (cm) (sd)	44,3 (15,9)	30,9 (7,9)	40,0 (17,3)
Textura	Franco-arenoso	Franca	Franco-arenoso
pH	Acido	Ácido-Fuertemente ácido	Ácido
Materia orgánica	Escasa	Escasa	Escasa
Vegetación	Pastizal anual subnitrófilo	Matorral ralo de <i>Cistus ladanifer</i> y <i>Cistus salviaefolius</i> Pastizal de gramíneas	Pastizal anual subnitrófilo
Ganado	Ovino y vacuno	Ovino y cerdo ibérico	Ovino y cerdo ibérico

Tabla 1. Características de las parcelas de estudio. sd: desviación típica

El dispositivo incluye la medición de temperatura de suelo y humedad de suelo (sensores de humedad ECH2O®) a dos profundidades (0-20, 20-40 cm) en 2 (TO y BA) y 3 (HR) puntos de cada parcela y de variables climáticas a través de una estación meteorológica en cada parcela, con toma de datos cada 15 min de precipitación, temperatura del aire, velocidad y dirección de viento, radiación PAR y humedad relativa. En cada individuo de las parcelas se tomaron datos dendrométricos correspondientes a la circunferencia normal, altura total y longitud y radios de copa.

Análisis de datos

Con los datos obtenidos de crecimientos mensuales con dendrómetros de banda se ha elaborado un modelo lineal con el objetivo de analizar la influencia del individuo, la parcela, el año y el mes, así como las interacciones entre la parcela, el año y el mes en el crecimiento en circunferencia de la especie. La variable dependiente utilizada ha sido el crecimiento diario, con objeto de corregir las diferencias en número de días de cada mes. El modelo tiene la siguiente estructura inicial:

$$y_{ijkm} = \mu + \alpha_i + b_{j(i)} + \tau_k + \eta_m + (\alpha|\tau|\eta)_{ikm} + e_{ijk}$$

con: y_{ijkm} : Crecimiento diario en décimas de mm del árbol j de la parcela i en el mes k del año m ; μ : media general; α_i : efecto fijo parcela ($i=1,2,3$); $b_{j(i)}$: Efecto aleatorio árbol (dentro de parcela) con $j=1,2,\dots$ e $i=1,2,3$ bajo las hipótesis $b_{j(i)} \sim N(0, \sigma_b^2)$ y covarianzas nulas entre distintos individuos; τ_k : efecto fijo mes de medición con $k=1,2,3,\dots,12$; η_m : efecto fijo año, con $m=1,2,3$; $(\alpha|\tau|\eta)_{ikm}$: conjunto de interacciones dobles y triple entre efectos fijos; e_{ijkl} : error residual con hipótesis de distribución normal.

El modelo inicial es un modelo lineal mixto con efecto aleatorio árbol y efectos fijos parcela, mes e interacción parcela x mes. La estructura de los datos indica la posible presencia de correlación espacial entre individuos de una misma parcela y correlación entre observaciones tomadas en distintos meses en un mismo individuo, por lo que se han experimentado distintas estructuras de la matriz de varianzas-covarianzas para el conjunto de los datos que tienen en consideración la existencia de correlación temporal. Este paso es fundamental para obtener estimaciones adecuadas de

los errores de los coeficientes de los efectos fijos, que afecta al nivel de significación de los mismos. La estructura espacial no se ha analizado para este trabajo, por lo que se considera covarianza espacial nula entre individuos. La selección del mejor modelo ha seguido el siguiente proceso: (1) Consideración de efecto aleatorio a nivel árbol y selección de la mejor estructura de la matriz de varianzas covarianzas incluyendo hipótesis de no independencia entre observaciones tomadas en un individuo y varianzas heterogéneas entre meses de medición. Se han considerado diferentes tipos de matrices de varianzas-covarianzas como la autoregresiva de orden 1, toeplitz homogénea y heterogénea con varias bandas, simétrica compuesta heterogénea, antedependiente de orden 1, no estructurada y no estructurada diagonal (ver WOLFINGER (1996) para una descripción de las matrices de varianzas-covarianzas). (2) Análisis de significación del efecto aleatorio a nivel árbol. (3) En caso de que el efecto aleatorio árbol sea significativo, análisis del modelo con la introducción de la circunferencia normal como covariable. (4) En el caso de efectos fijos e interacciones significativas, introducción de las covariables climáticas y edáficas al nivel de cada factor o interacción significativa. En este estudio el análisis se ha centrado en el nivel parcela \times año \times mes mediante la eliminación de esa interacción y la introducción de covariables a ese nivel. Se ha introducido como máximo una covariable en el modelo. Las covariables se han introducido de forma aditiva (no multiplicativa).

Los componentes de la varianza para cada una de las estructuras de la matriz de varianzas-covarianzas se han estimado por máxima verosimilitud restringida o residual (REML). Para analizar la mejor estructura de modelo se han comparado los valores del criterio de información de Akaike (AIC) indicando menores valores un mejor ajuste. Tras la selección de la mejor estructura de la matriz de varianzas-covarianzas y la estimación de los componentes de la varianza se ha realizado la estimación de los coeficientes de los efectos fijos del modelo (parcela, mes, año e interacciones) por mínimos cuadrados generalizados y analizado su nivel de significación mediante un test F. El nivel de significación de las covariables se ha analizado igualmente mediante un test F. El análisis estadístico se ha realizado con SAS v9.2.

RESULTADOS

Evolución de variables edáficas y climáticas en el periodo de estudio

En la Figura 1 se indica la evolución de la temperatura media anual y de la media de las mínimas a lo largo del periodo de estudio en las parcelas analizadas. Se aprecia la mayor continentalidad de la parcela de Toledo, con mayor oscilación térmica en las temperaturas medias entre el verano y el invierno, seguido de la parcela de Badajoz. Las diferencias en los valores de temperaturas medias se dan principalmente en invierno, mientras que en verano son similares en las tres zonas de estudio. Por el contrario, los valores de las temperaturas medias mínimas son superiores en Huelva durante todo el año, mientras que entre las parcelas de Badajoz y Toledo se aprecian diferencias apreciables en invierno (valores más bajos en Toledo) pero escasos en verano. La evolución de la humedad superficial del suelo y la precipitación mensual se indican en la Figura 2. El patrón de evolución es el típico en medios mediterráneos con precipitaciones escasas o nulas en los meses estivales que dan lugar a valores mínimos de humedad de suelo, mientras que las precipitaciones otoñales y estivales dan lugar a una recarga de agua del suelo. Destacan especialmente las precipitaciones del invierno 2009-2010, que dieron lugar a una recarga superior a la del año anterior y motivaron que los niveles de humedad en el verano siguiente se mantuviesen más altos en las parcelas de Badajoz y Huelva que en el verano anterior, mientras que en la parcela de Toledo descendieron hasta los mismos niveles.

Crecimientos mensuales

El modelo seleccionado en el análisis es un modelo mixto con efecto aleatorio árbol y con todos los efectos fijos (parcela, año, mes) e interacciones significativas. La estructura de la matriz de varianzas-covarianzas seleccionada es de tipo autoregresiva heterogénea de orden 1, lo que indica que las varianzas son distintas para cada mes y que existe un patrón de correlación temporal. La estimación de los componentes de la varianza del modelo se indica en la Tabla 2, con un claro aumento de la varianza en los meses de mayor crecimiento (de abril a junio). La introducción de la circunferencia normal como covariable mejora el

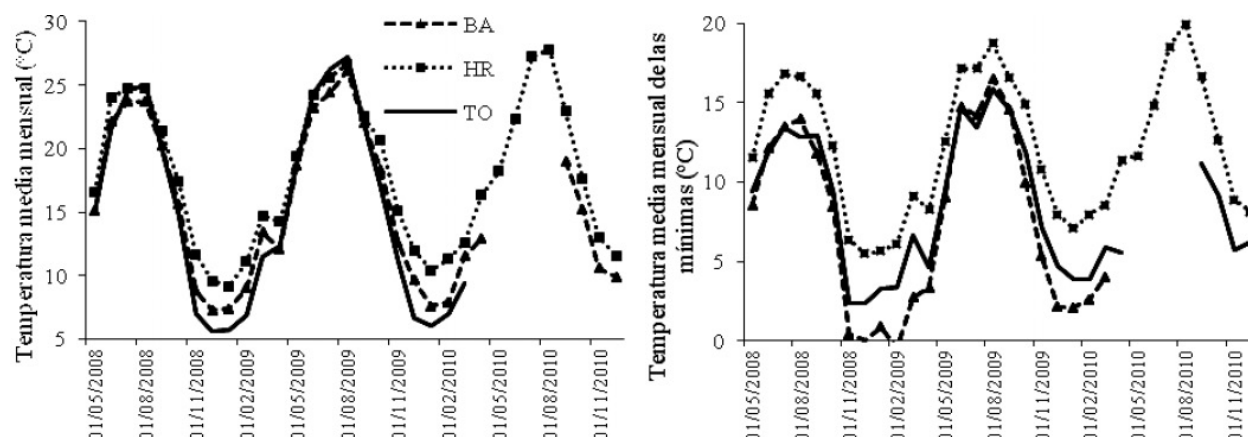


Figura 1. Evolución de la temperatura media mensual (izquierda) y temperatura media de las mínimas mensual (derecha) en el periodo de estudio para las tres parcelas de estudio

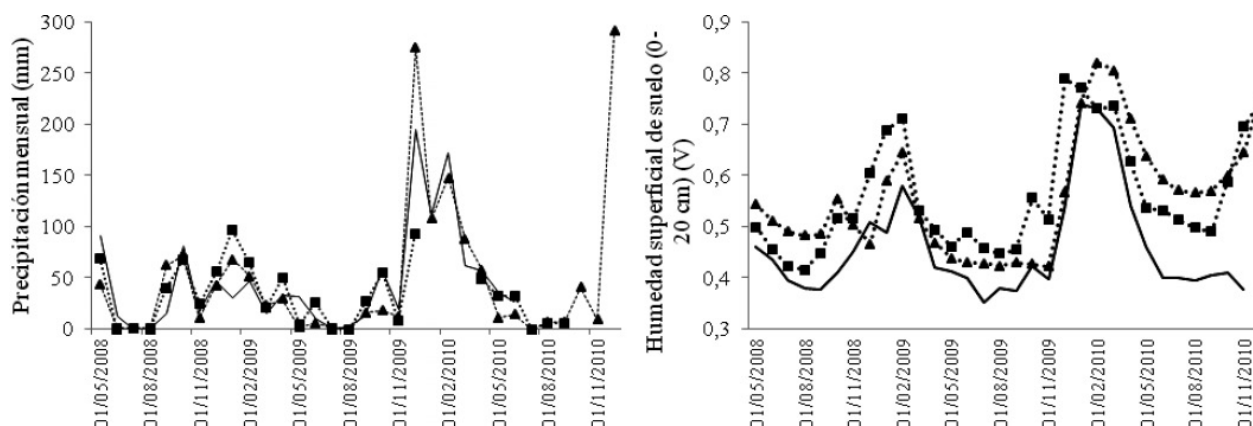


Figura 2. Evolución de la precipitación mensual y la humedad de suelo superficial (0-20 cm) en las parcelas de estudio

ajuste del modelo (coeficiente = -0,00023, F=8,78, p=0,003) indicando la ralentización del crecimiento en los árboles de mayores dimensiones.

El test de significación de los efectos fijos del modelo se muestra en la Tabla 3. Se aprecia que todos los factores e interacciones son altamente significativos. Así, el análisis indica un claro efecto regional en el crecimiento (efecto parcela significativo), con valores significativamente superiores en TO frente a BA, siendo HR la parcela que presenta menor crecimiento (valores estimados de crecimiento anual en diámetro

(mm)± error típico de 2,99±0,11 mm, 2,57±0,11 mm y 2,00±0,12 mm respectivamente). Existen variaciones significativas a nivel anual, con valores superiores de crecimiento en el año 2010 frente al 2009 (valores estimados de crecimiento anual en diámetro (mm) de 3,05 ±0,09 mm y 1,79±0,09 mm respectivamente).

El patrón fenológico del crecimiento secundario se refleja en la existencia de un efecto mes altamente significativo (ver Figura 3, izquierda), con crecimientos máximos en primavera, nulos o incluso negativos en los meses centrales del vera-

Árbol	ARH(1)	Meses											
		En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oct	Nov	Dic
0,001	0,43	0,020	0,026	0,079	0,096	0,109	0,102	0,050	0,027	0,028	0,025	0,012	0,029

Tabla 2. Estimación de los componentes de la varianza en el modelo seleccionado. ARH(1): coeficiente de correlación entre observaciones consecutivas de un mismo árbol y año

Efecto	Num G de l.	Den G de l.	Valor de F	Prob > F
Parcela	2	407	31,16	<0,0001
Año	2	872	64,63	<0,0001
Mes	11	1.446	280,47	<0,0001
Parcela x Año	4	872	28,60	<0,0001
Parcela x Mes	22	1.448	55,88	<0,0001
Año x Mes	18	1.660	58,85	<0,0001
Parcela x Año x Mes	36	1.676	35,21	<0,0001

Tabla 3. Test de significación de los efectos fijos del modelo

no, crecimiento o rehidratación en otoño y parada vegetativa invernal. El análisis revela igualmente que la fenología del crecimiento difiere entre zonas (interacción parcela x mes significativa, ver Figura 4, derecha), donde se aprecian fundamentalmente diferencias en primavera, con una ralentización más temprana del crecimiento en HR, que

presenta valores máximos en abril y ya negativos en junio, frente a TO, que presenta valores máximos en mayo y no ralentiza claramente su crecimiento hasta julio. La parcela de BA presenta un comportamiento intermedio entre las dos anteriores. La presencia de una interacción significativa parcela x año x mes indica asimismo que existen

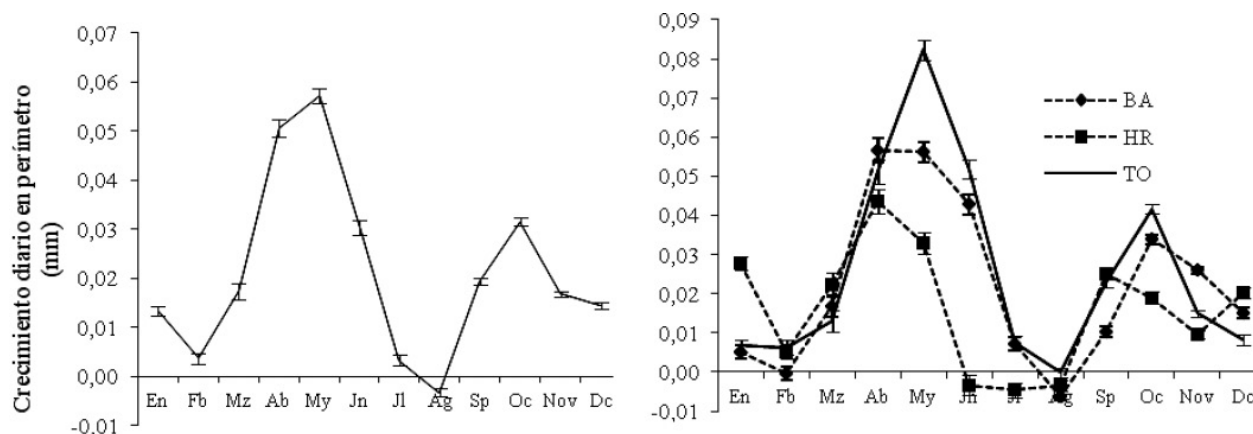


Figura 3. Estimación de valores de crecimiento mensuales \pm error típico para el conjunto de los datos (izquierda) y por parcela (derecha)

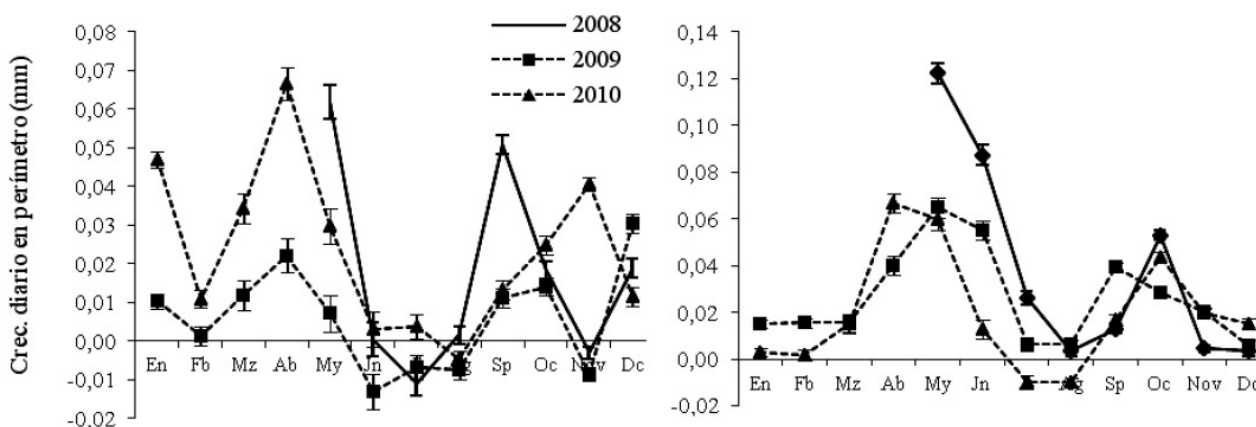


Figura 4. Estimación de valores de crecimiento mensuales \pm error típico para HR (izquierda) y TO (derecha) en los años de estudio

diferencias fenológicas entre los distintos años para una misma parcela, como se aprecia en la Figura 4, donde se presentan los valores estimados para las parcelas de HR (izquierda) y TO (derecha). En HR se aprecia un crecimiento muy superior en los meses de primavera del 2010 y mayo de 2008 frente al año 2009. Ese hecho no se aprecia en la parcela de TO en la que, por el contrario, se aprecia un retraso en el crecimiento secundario en la primavera del año 2010 frente al 2009. En ambos casos se observa que la razón de que el crecimiento máximo estimado para el conjunto de los datos sea en mayo se debe a los valores de crecimiento elevados que se presentan fundamentalmente en TO en ese mes del año 2008.

La introducción de covariables a nivel parcela x año x mes indica cuáles son las variables climáticas y edáficas que explican las diferencias fenológicas encontradas en los distintos años en una parcela. La Tabla 4 indica que valores más elevados de la temperatura media de las mínimas, humedad relativa, temperatura media y humedad de suelo de 0 a 20 cm y de 0-40 cm de profundidad están relacionados con valores más elevados de crecimiento. Por el contrario, la temperatura de suelo, la humedad de suelo en la capa 20-40 cm y la temperatura media de las máximas no explican de forma significativa la variabilidad encontrada.

DISCUSIÓN

El estudio realizado cuantifica el patrón de crecimiento mensual de la encina en las zonas analizadas. Los crecimientos observados son máximos en primavera, donde la reserva de agua en el suelo es todavía elevada y las temperaturas son altas. El intenso crecimiento primaveral en abril y mayo ha sido también documentado en

Quercus ilex y otros *Quercus* mediterráneos (p.e. CAMPELO et al., 2007; NABAIS et al. 1998; GARCÍA-GONZÁLEZ & ECKSTEIN, 2003). La parada estival es claramente debida a la falta de recursos hídricos y también ha sido indicada por CAMPELO et al. (2007) y GUTIERREZ et al. (2011) en la zona de Garraf (Barcelona), con sequía estival menos intensa que en las parcelas analizadas en nuestro estudio. En verano se produce incluso contracción de tejidos debido al estrés hídrico, que ocasiona que los valores estimados para el mes de Agosto sean negativos. Los crecimientos observados en los meses de Septiembre y Octubre pueden ser debidos a rehidrataciones o/y a la generación de nuevas células por actividad cambial. La existencia o no de actividad cambial no puede ser verificada con dendrómetros y sería necesario recurrir a la extracción periódica de micromuestras del conjunto xilema-cambium-floema para constatar este hecho (DESLAURIERS et al., 2003). CAMPELO et al. (2007) sí que detectan mediante métodos dendrocronológicos la presencia de dobles anillos originados por la reactivación del cámbium tras precipitaciones ocurridas en verano-otoño, pero, al realizar las observaciones en anillos anuales, el conocimiento de las circunstancias microecológicas precisas para tal reactivación es desconocido. El estudio revela igualmente una parada vegetativa en los meses de Diciembre, Enero y Febrero ocasionada por bajas temperaturas. Esta parada en el crecimiento ha sido constatada igualmente para el alcornoque en zonas más térmicas que la correspondiente a HR de la provincia de Huelva (VÁZQUEZ-PIQUÉ et al., 2008) e igualmente para encinas de zonas más térmicas que las analizadas en Hinojos (Huelva) (datos no mostrados). La parada invernal es igualmente observada por CAMPELO et al.

Covariable	Valor F	Prob >F	Coficiente	AIC
m_mn_TA	106,03	0,000	0,035	-1.524,8
mHR	35,44	0,000	0,004	-1.936,5
mTA	32,36	0,000	0,024	-1.462,5
mH1	8,64	0,003	0,222	-1.311,8
H	5,17	0,023	0,169	-1.308,4

Tabla 4. Covariables climáticas y edáficas significativas introducidas a nivel parcela x año x mes. m_mn_TA: media mensual de las mínimas diarias de temperatura del aire (°C); mHR: Humedad Relativa (%); mTA: temperatura del aire (°C); mH1: humedad de suelo superficial (0-20 cm, V); H: humedad de suelo de 0 a 40 cm (V)

(2007) en el Garraf o por CHERUBINI et al. (2003) en zonas continentales próximas a Pisa, por lo que debe considerarse un hecho general incluso en las zonas más térmicas de distribución de la especie.

Los datos analizados indican la existencia de diferencias significativas en el patrón de crecimiento de la encina entre las distintas zonas analizadas. La detención del crecimiento en HR ya en el mes de Junio, más temprana que en el resto de las zonas, parece corresponder con una limitación de recursos hídricos ya que la reserva el suelo en esa zona alcanza a niveles más profundos (valores no mostrados) ya a principios de ese mes valores similares a los del final del verano, mientras que en TO y BA todavía existen de recursos hídricos para el crecimiento. Las diferencias encontradas entre parcelas en la fenología del crecimiento secundario parecen muy influenciadas por un lado, por los elevados crecimientos experimentados en la primavera de 2008 en TO, motivados por las elevadas recargas en la humedad de suelo experimentadas en primavera de ese año y, por otro lado, por los bajos crecimientos en 2009 en la parcela de HR, debida fundamentalmente a los bajos valores de humedad de suelo en esa parcela en comparación a 2010.

Se ha observado una elevada variabilidad interanual en el patrón de crecimiento secundario de la especie dentro de cada parcela, que queda explicado por variables edafoclimáticas como la temperatura media de las mínimas, la humedad relativa, la temperatura media del aire y la humedad superficial o la humedad media en los 40 cm superficiales del perfil. Se aprecia claramente que en el invierno 2009-2010 tuvo lugar una elevada recarga de la humedad de suelo, que se mantuvo durante todo el verano siguiente con niveles superiores a los del verano anterior, a excepción de en la parcela de Toledo (ver Figura 2), y que las temperaturas medias y fundamentalmente la media de las mínimas se fueron superiores en la primavera de 2010 frente al 2009. Como resultado, el crecimiento primaveral en 2010 fue muy superior al de 2009, a excepción de en la parcela TO, donde se ha visto que los niveles de humedad de suelo en los meses de crecimiento se mantuvieron similares en esos dos años.

CONCLUSIONES

La encina muestra en las zonas analizadas un patrón de crecimiento con máximo primaveral, parada estival por falta de recursos hídricos, crecimiento o hidratación otoñal y parada vegetativa invernal. Existen diferencias de crecimiento entre zonas y el patrón de crecimiento varía según la zona, con ralentización del crecimiento en primavera más temprana en la parcela de Huelva y más tardía en la de Toledo. La parada de crecimiento estival es debida al agotamiento de recursos hídricos y la invernal es debida a las bajas temperaturas. No es posible distinguir con los dendrómetros de banda si las variaciones en las dimensiones del tronco detectadas en otoño corresponden únicamente a hidratación o a la suma de hidratación y producción de nuevas células por actividad cambial.

Existe una elevada variabilidad interanual en la fenología dentro de la parcela, con mayores crecimientos explicados por valores más elevados de la temperatura media de las mínimas, humedad relativa y humedad de suelo en los primeros 20 y 40 cm del perfil. La temperatura del suelo no es una variable significativa. Las variables de aire (de más fácil medición y disponibilidad) son mejores predictoras que las del suelo, lo que puede dar pie a modelos predictivos de crecimiento de más fácil generalización.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos P07 RNM02688 (Consejería Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía, Proyectos de Excelencia), SUM2006-0034 y SUM2006-00026 (Plan Nacional de I+D, Sumideros Agroforestales de efecto invernadero, 2007-2010) y RTA2009-00110 (Plan Nacional de I+D, Recursos y Tecnologías Agroalimentarias). Queremos agradecer la colaboración de la Diputación de Huelva, la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha y a Leopoldo Olea por permitir la instalación de las parcelas y de todas las personas que han colaborado en la instalación del dispositivo experimental y en la recogida de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLÚE, J.L.; 1990. *Atlas fitoclimático de España*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- CAMPELO, F.; GUTIERREZ, E.; RIBAS, M.; NABAIS, C. & FREITAS, H.; 2007. Relationships between climate and double rings in *Quercus ilex* from northeast Spain. *Can. J. For. Res.* 37: 1915–1923.
- COSTA, A.; PEREIRA, H. & OLIVEIRA, A.; 2003. Variability of radial growth in cork-oak adult trees under cork production. *Forest Ecol. Manage.* 175: 239-246.
- CHERUBINI, P.; GARTNER, B.L.; TOGNETTI, R.; BRAKER, O.U.; SCHOCH, W. & INNES, J.L.; 2003. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 78.
- DESLAURIERS, A.; MORIN, H. & URBINATI, C.; 2003. Daily weather response of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) stem radius increment from dendrometer analysis in the boreal forest of Québec (Canada). *Trees* 17: 477–484.
- DIRECCIÓN GENERAL DEL MEDIO NATURAL Y POLÍTICA FORESTAL; 1997. *Tercer Inventario Forestal Nacional*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, I. & ECKSTEIN, D.; 2003. Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. *Tree Physiol.* 23: 497–504.
- GUTIÉRREZ, E.; CAMPELO, F.; CAMARERO, J.; RIBAS, M.; MUNTÁN, E.; NABAIS, C. & FREITAS, H.; 2011. Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. *Trees* 25(4): 637-646.
- NABAIS, C.; FREITAS, H. & HAGEMEYER, J.; 1999. Tree-rings to climate relationships of *Quercus ilex* L. in the NE-Portugal. *Dendrochronologia* 17: 37–44.
- PEREIRA DA SILVA, R.; DOS SANTOS, J.; SIZA TRIBUZY, E.; CHAMBERS, J.Q.; NAKAMURA, S. & HIGUCHI, N.; 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in central Amazon, Brasil. *Forest Ecol. Manage.* 166(1-3): 295-301.
- SCHWEINGRUBER, F.H.; 1996. *Tree rings and environment dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne.
- VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; TORRES, E.; SUAREZ, M.A. & TAPIAS, R.; 2008. Influence of climate and soil conditions on cork oak diameter changes. An approach based on high resolution point dendrometers. In: J. Vázquez-Piqué, H. Pereira & A. González-Pérez (eds.), *Suberwood: new challenges for the integration of cork oak forests and products*: 123-136. Universidad de Huelva. Huelva.
- WOLFINGER, R.D.; 1996. Heterogeneous variance-covariance structures for repeated measures. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* 1:205–230.