



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-156

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Variabilidad intra e interregional en el crecimiento diametral de encina (*Quercus ilex* subs. *ballota* (Desf.) Samp.): influencia de factores edafoclimáticos mediante combinación de mediciones continuas y mensuales.

VÁZQUEZ- PIQUÉ, J.<sup>1</sup>; ROIG, S.<sup>2</sup>; GONZÁLEZ- PÉREZ, A.<sup>1</sup>; CAÑELLAS, I.<sup>2</sup>; MARTÍN, D.<sup>1</sup>, ALEJANO, R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva

<sup>2</sup> CIFOR-INIA, Madrid

### Resumen

La cuantificación del crecimiento de las especies forestales es un aspecto fundamental para desarrollar una selvicultura basada en criterios técnicos y científicos. A su vez, el análisis de cómo influyen los factores climáticos y edáficos 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 recogidas a través de sensores remotos y redes de estaciones meteorológicas.

En este trabajo se analiza la influencia de variables edafoclimáticas en el crecimiento diametral de encina en 3 sitios de ensayo situados en estaciones forestales contrastadas: Villanueva de los Castillejos (Huelva), Olivenza (Badajoz) y Oropesa (Toledo). La toma de datos de crecimiento se realiza a dos niveles: (a) de forma continua (intervalo de 15 min) en 6-9 individuos de la parcela mediante dendrómetros electrónicos (DEPFOR, Universidad de Huelva) con resolución de 4 micras y (b) con periodicidad mensual, mediante dendrómetros de banda en 60-100 individuos por parcela. Las parcelas disponen de estaciones meteorológicas “*in situ*” para la medición de las variables climáticas y humedad y temperatura de suelo.

Con los datos obtenidos con los dendrómetros de banda se ha elaborado un modelo de crecimiento mensual que analiza la influencia de la zona, el árbol, el mes y la interacción parcela x mes en el crecimiento. Todos los efectos del modelo son significativos e indican un patrón de crecimiento con máximo primaveral, parada estival, crecimiento o hidratación otoñal y parada vegetativa invernal, con el mayor crecimiento en Toledo y el menor en Badajoz. La parada estival se produce por falta de recursos hídricos y es más temprana en Huelva y la invernal, motivada por bajas temperaturas, en Toledo. Los datos de los dendrómetros electrónicos permiten corroborar, añadir más detalle y facilitar la interpretación del análisis mensual.

### Palabras clave

Dendrómetro electrónico, dendrómetro de banda, modelo, variables edáficas, variables climáticas.

### 1. 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 54,74% del total de la superficie ocupada por frondosas y un 28,34% del total de la superficie arbolada. En general se trata de 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 sudoeste 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:

- 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.
- Permite mejorar las funciones crecimiento-clima presentes en los modelos ecosistémicos y de dinámica forestal más generales, que normalmente son empíricos y con escasa base ecofisiológica.
- Permite profundizar y adquirir conocimientos más precisos del papel que juegan estas masas como fijadoras de CO<sub>2</sub> atmosférico y su evolución estacional.
- Permite realizar simulaciones de crecimiento de las especies frente a distintos escenarios de cambio climático.

A pesar de la importancia de esta especie y del interés de conocer el crecimiento, los estudios realizados para profundizar en las relaciones crecimiento-factores ambientales al nivel de detalle y a escala intra-anual o incluso diaria son prácticamente inexistentes. La aproximación tradicional dendroclimatológica, 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, como mínimo, 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 caracterización 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). Para esta especie, además, la identificación de anillos de crecimiento puede ser una tarea compleja. Esta aproximación también es inadecuada si se pretende estudiar los factores de activación y cese del periodo vegetativo, aspecto fundamental para modelizar la influencia de los efectos del cambio climático en el crecimiento de las especies.

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).

La evaluación de la relación entre los factores ambientales y el crecimiento es más eficiente a través de la utilización de medidas continuas de crecimiento y de la instalación de estaciones meteorológicas con medición de variables edáficas en las proximidades de los individuos o poblaciones analizadas (SCHWEINGRUBER, 1996). Hoy en día los dendrómetros automáticos permiten la medición continua de la actividad cambial en árboles con precisión de micras a escalas temporales que pueden variar desde segundos a días.

En este artículo se realiza una primera aproximación, con datos de un periodo vegetativo, al análisis 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).

## 2. Objetivos

El objetivo del trabajo es cuantificar las diferencias y variabilidad en el crecimiento diametral a escala intraanual de la encina en los tres sitios de ensayo, describiendo las pautas anuales de crecimiento, la duración y fases del periodo vegetativo, y relacionar estos aspectos con variables edáficas (temperatura y humedad de suelo) y climáticas.

## 3. Metodología

### 3.1. 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). Las características más destacadas de las 3 parcelas se indican en la Tabla 1.

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

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) <sub>1</sub>	IV <sub>4</sub>	IV <sub>4</sub>
Relieve	Ligeramente ondulado	Ondulado	Ondulado
Densidad (pies ha <sup>-1</sup> )	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 subnitrofilo	Matorral ralo de <i>Cistus ladanifer</i> y <i>Cistus salviaefolius</i> Pastizal de gramíneas	Pastizal anual subnitrofilo
Ganado	Ovino y vacuno	Ovino y cerdo ibérico	Ovino y cerdo ibérico

El dispositivo experimental es similar en las tres parcelas. Los dispositivos instalados para la medición del crecimiento son de dos tipos:

- 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 Febrero de 2009.
- Dendrómetros electrónicos potenciométricos, de fabricación propia, en 6 individuos (BA y TO) y 9 individuos de la parcela (HR) con toma de datos programada cada 15 min y precisión de 4 micras. El periodo analizado comprende desde Marzo de 2008 a Febrero 2009.

El dispositivo incluye la medición de temperatura de suelo y humedad de suelo (sensores de humedad ECH2O<sup>®</sup>) 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 de copa y radios de copa.

### 3.2. 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 mes y la interacción parcela-mes en el crecimiento en circunferencia de la especie. Dado que las mediciones en las distintas parcelas no se realizan el mismo día ni siempre a final de mes se ha realizado una extrapolación lineal entre fechas de medición para el cálculo del crecimiento mensual entre el primer y último día de cada mes. 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:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_{j(i)} + \tau_k + (\alpha\tau)_{ik} + e_{ijk}$$

Con:

- $y_{ijk}$ : Crecimiento diario en décimas de mm del árbol  $j$  de la parcela  $i$  en el mes  $k$ .
- $\mu$ : media general.
- $\alpha_i$ : 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.
- $\tau_k$ : Efecto fijo mes de medición con  $k=1,2,3,4,5,\dots$
- $(\alpha\tau)_{ik}$ : Interacción parcela - mes
- $e_{ijk}$ : Error residual con hipótesis inicial  $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma_e^2)$ .

El modelo inicial es un modelo lineal mixto con efecto aleatorio árbol y efectos fijos parcela, mes e interacción parcela x mes. En este caso, la realización de hipótesis iniciales de independencia de las observaciones no es lógica debido a la estructura de los datos (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. Este paso es fundamental para obtener estimaciones adecuadas de los errores de los coeficientes de los efectos fijos, que pueden afectar 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. Las aproximación ha sido las siguiente:

- 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 matrices de tipo autoregresivo de orden 1, toeplitz con varias bandas, simétrica compuesta heterogénea, antedependiente de orden 1, no estructurada y no estructurada diagonal.
- Análisis de significación del efecto aleatorio a nivel árbol.
- En caso de efecto aleatorio árbol significativo, análisis del modelo con la introducción de la circunferencia normal como covariable.



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 estadístico  $-2$  veces el logaritmo de verosimilitud ( $-2LL$ ) a través de un test de verosimilitud. Se ha considerado un valor  $\alpha=0,05$  para detectar una mejora en las características del modelo con la introducción de nuevos parámetros en la matriz.

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 e interacción parcela x mes) por mínimos cuadrados generalizados y analizado su nivel de significación mediante un test F. En el caso de introducción de la covariable circunferencia normal se ha analizado su nivel de significación a través de un test F y mediante un test de verosimilitud con el valor de reducción de  $-2LL$ . En este caso la comparación se ha realizado tras realizar el ajuste del modelo por máxima verosimilitud (ML). En los efectos significativos se ha realizado la comparación entre sus niveles mediante el test de Scheefe. El análisis estadístico se ha realizado con SAS v9.1.

Los datos obtenidos de los dendrómetros electrónicos se han analizado gráficamente y se han detectado las tendencias en el crecimiento, las tasas de crecimiento, las épocas de inicio y finalización del periodo vegetativo y las diferencias existentes entre individuos y entre parcelas. Los datos correspondientes a las variables climáticas y edáficas y su influencia en el crecimiento se han analizado de forma gráfica.

## 4. Resultados

### 4.1. Características climáticas y edáficas (humedad y temperatura de suelo) de las parcelas de estudio en el periodo de análisis

La temperatura media en las parcelas de estudio en el periodo de análisis (abril 2008 – febrero 2009) fue de  $17,1$  °C en HR,  $17,5$ °C en TO y  $15,4$ °C en BA. La distribución de la temperatura media mensual y media de las mínimas mensual se indica en la Figura 1.

Se aprecia el mayor grado de continentalidad de la parcela TO, con mayor contraste térmico entre las temperaturas estivales e invernales. La parcela HR presenta los valores más elevados de temperatura a lo largo de todo el periodo mientras que BA ocupa una posición intermedia.

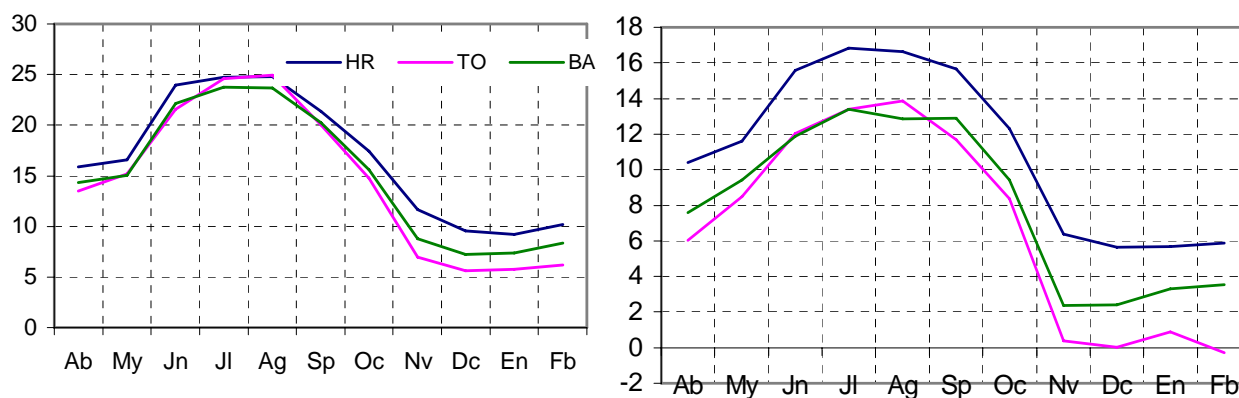


Figura 1. Valores de temperatura media mensual (izquierda) y temperatura media de las mínimas mensual (°C) en las parcelas de estudio

Las precipitaciones en el periodo fueron de 430,6 mm en HR, 503,4 mm en TO y 534,8 mm en BA, con la distribución mensual que se indica en la Figura 2. Destacan las elevadas precipitaciones registradas en el mes de Abril de 2008 y la característica sequía estival en las tres zonas.

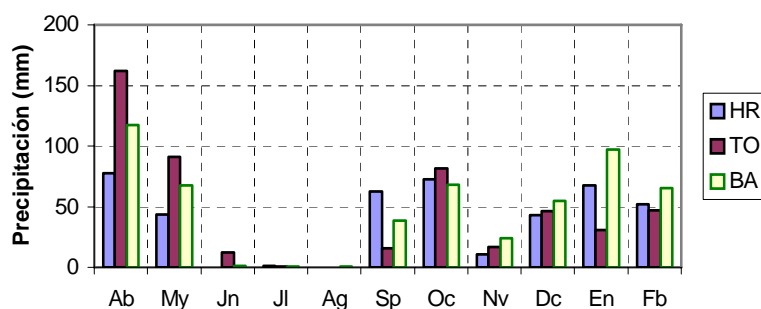


Figura 2. Valores de precipitación mensual (mm) en las parcelas de estudio

Las variaciones observadas en la temperatura del aire y en el régimen de precipitaciones se reflejan en las variaciones de la temperatura y el régimen hídrico del suelo. En la Figura 3 se indica la variación de temperatura media mensual del suelo a 30 cm en el periodo de estudio. El patrón es similar al experimentado por la temperatura del aire, con mayor contraste térmico en TO y valores más elevados en HR a excepción de los meses de Agosto, Septiembre y Octubre, en los que las diferencias entre las tres parcelas son muy pequeñas.

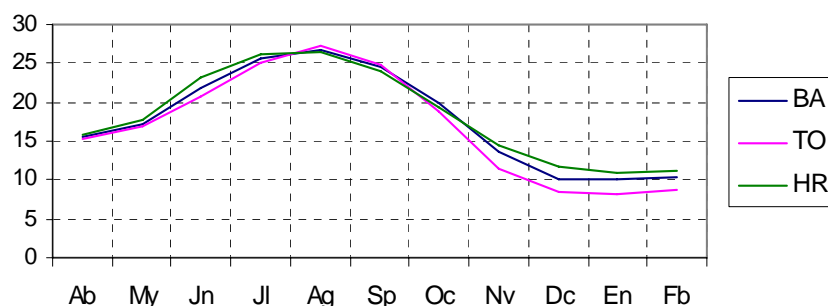


Figura 3. Evolución de la temperatura media mensual del suelo a 30 cm (°C) en las parcelas de estudio

La variación de humedad de suelo media en los 40 cm superficiales del suelo permite apreciar los periodos de recarga y disminución del contenido de agua en el periodo (Figura 4). Las elevadas precipitaciones de Abril ocasionan una importante recarga, siendo menor en HR debido a la menor intensidad de las precipitaciones (ver Figura 2).

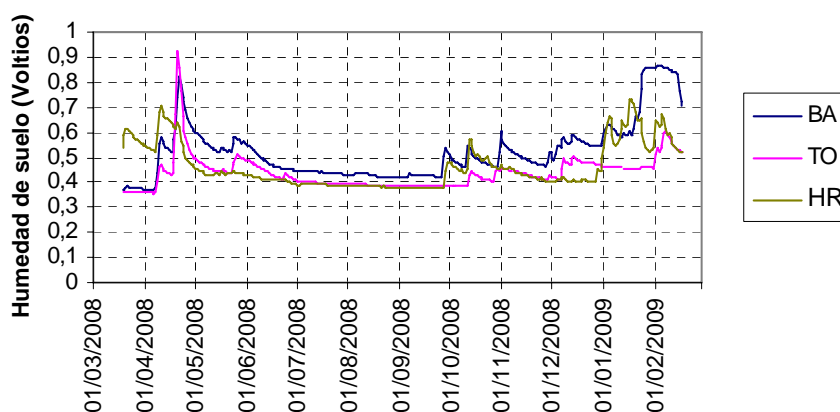


Figura 4. Evolución diaria de la humedad de suelo (Volts) en los primeros 40 cm de suelo en las parcelas de estudio.

El descenso de humedad también es más acusado en HR, donde ya a principios de Junio la reserva de agua en el suelo es muy baja. La reserva permanece en niveles mínimos durante los meses de Julio, Agosto y gran parte de Septiembre, hasta que las primeras precipitaciones de finales de Septiembre en BA y TO y de Octubre en TO incrementan de nuevo la reserva.

#### 4.2. Crecimientos mensuales

El modelo seleccionado en el análisis es un modelo mixto con efecto aleatorio árbol y con efectos fijos parcela, mes e interacción año x mes altamente significativos. La estructura de la matriz de varianzas-covarianzas seleccionada es de tipo no estructurada diagonal con varianzas distintas dependiendo del mes. La estimación de los componentes de la varianza del modelo se indican en la Tabla 2. Pese a ser una estructura diagonal, en la fase de selección del modelo se apreció la mejora que se experimentaba, con relación al modelo de errores independientes y de igual varianza, al introducir una estructura no diagonal como la Toeplitz de 3 bandas. Sin embargo, estructuras más complejas, de varianzas heterogéneas y no diagonales, probablemente más adecuadas a la estructura de datos existente, experimentaban problemas de convergencia. La introducción de la circunferencia normal como covariable no suponía una mejora de las características del modelo.

Tabla 2 Estimación de los componentes de la varianza en el modelo seleccionado

Arbol	Mes									
	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	En	Fe
0,000823	0,006739	0,01849	0,2338	0,2071	0,0899	0,0227	0,0332	0,0314	0,0170	0,0098

El test de significación de los efectos fijos del modelo se muestra en la Tabla 3. Se aprecia que todos los componentes son altamente significativos, indicando un claro efecto regional en el crecimiento (efecto parcela), las evidentes variaciones temporales en la fase de crecimiento debido a los ciclos fenológicos (efecto mes) y revelando el análisis igualmente que los patrones de crecimiento difieren entre las zonas analizadas (interacción parcela x mes).

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

Efecto	Num G de l.	Den G de l.	Valor de F	Prob > F
Parcela	2	540	61,78	<0,0001
Mes	9	352	171,20	<0,0001
Parcela x mes	18	352	37,45	<0,0001

Los valores estimados de los distintos niveles de los efectos fijos e interacciones y errores de estimación se representan en las Figuras 5 y 6.

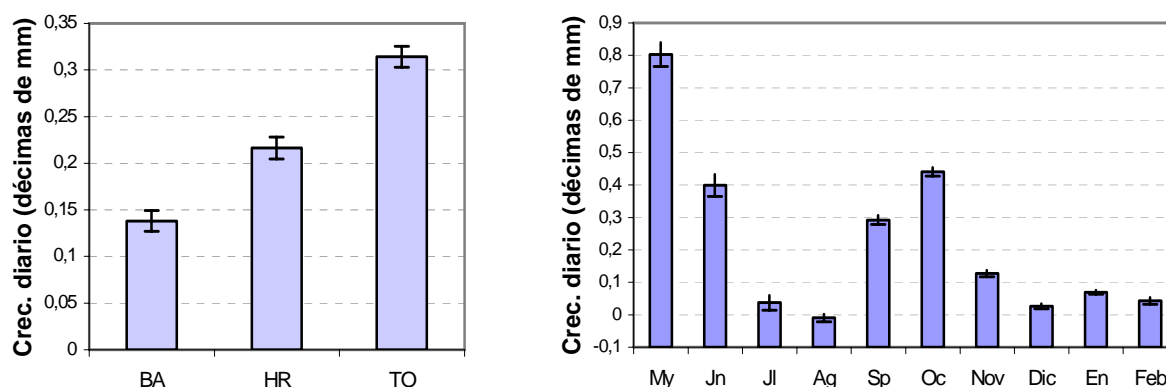


Figura 5. Valores estimados de crecimiento diario y error estándar de la estimación en las tres zonas analizadas (izquierda) y en los meses objeto de estudio (derecha)



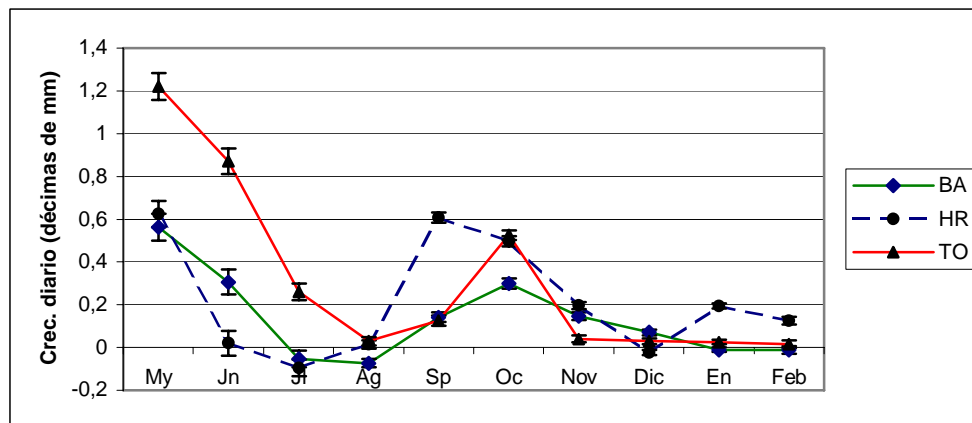


Figura 6. Valores estimados de crecimiento diario y error estándar de la estimación para cada zona y mes

Existen diferencias significativas en crecimiento entre todas las parcelas, con crecimientos estimados en TO que duplican los de BA, mientras que HR ocupa una situación intermedia. La Figura 5 revela el patrón fenológico en el crecimiento de la encina, con máximo crecimiento primaveral, paradas estivales e invernales, en el primer caso incluso con crecimientos negativos (contracciones) estimadas para el mes de Agosto, y una fase de crecimiento/hidratación otoñal, inferior a la primaveral. El análisis por zonas (Figura 6) revela el crecimiento más intenso en TO, con crecimiento incluso en el mes de Julio, hecho que no sucede en el resto de parcelas y una parada de crecimiento ya clara en Noviembre, cuando el resto de parcelas todavía experimentan un ligero crecimiento. En la parcela de HR el crecimiento se ha detenido ya en el mes de Junio mientras que en Septiembre se produce un crecimiento mayor que en el resto, producida tras la hidratación debida a una precipitación otoñal temprana. En todas las parcelas se aprecia parada vegetativa en los meses de diciembre, enero y febrero.

#### 4.3. Crecimiento continuo

La Figura 7 refleja la evolución de la dimensión radial del tronco medida con dendrómetros electrónicos en dos individuos de cada una de las parcelas de estudio. La media móvil de 20 días correspondiente a los crecimientos diarios se representa en la Figura 8 y permite una mejor comparación entre zonas e individuos.

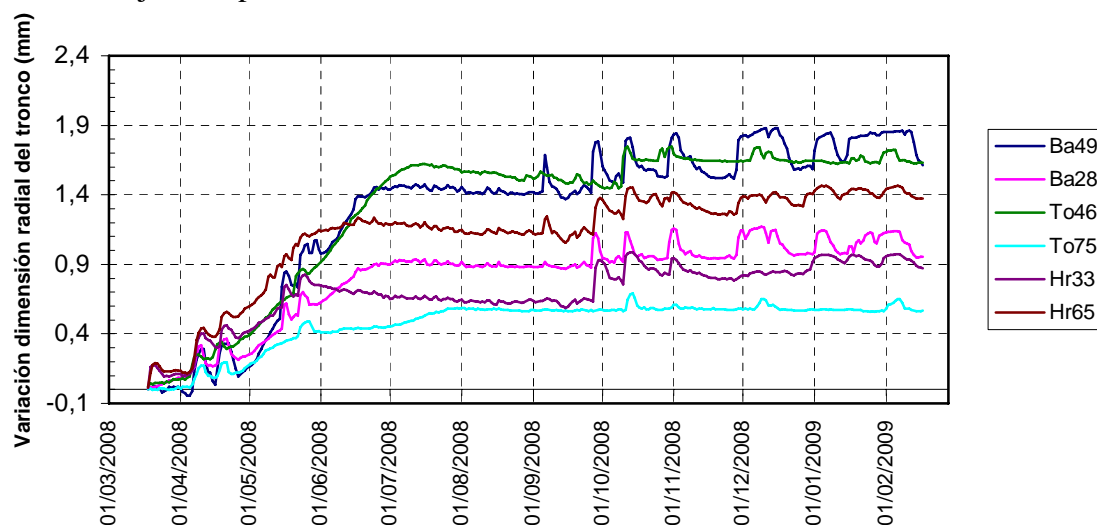


Figura 7. Variación de la dimensión radial del tronco en mm medida con dendrómetros electrónicos en dos individuos de cada una de las parcelas de estudio

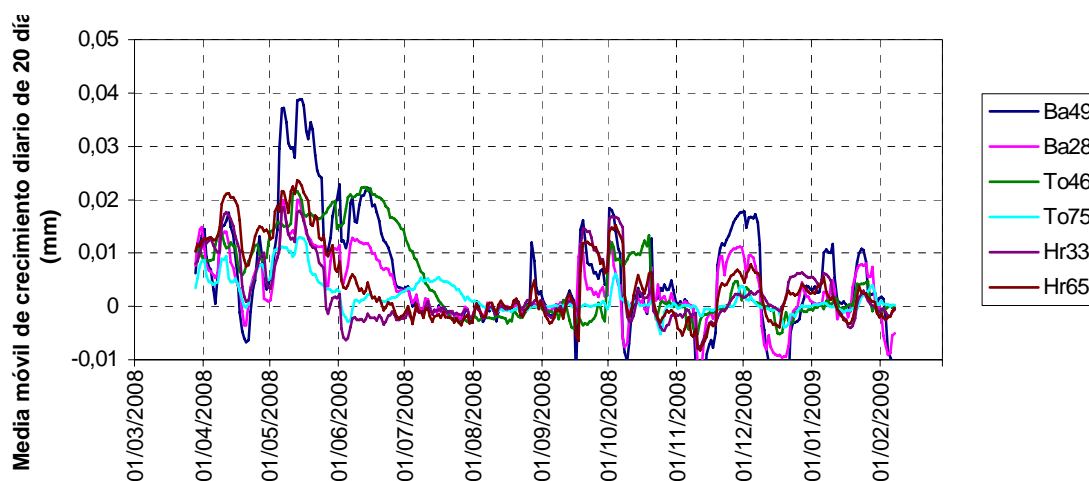


Figura 8. Media móvil de crecimiento diario de 20 días (mm) medida con dendrómetros electrónicos en dos individuos de cada una de las parcelas de estudio

Los datos recogidos por los dendrómetros reflejan la fenología de la actividad cambial de los individuos y también los procesos de hidratación y deshidratación del tronco. Se aprecia un crecimiento inicial mayor y fenología algo más temprana en HR frente a BA y TO y una finalización del crecimiento también más temprano (principios de Junio) en HR. El crecimiento se prolonga todavía algo más de un mes (hasta mediados de julio) en TO. Estos hechos están en consonancia con los valores estimados de crecimiento a partir de datos de crecimientos mensuales. La sequía estival provoca un crecimiento negativo (contracción) fundamentalmente en HR. Posteriormente, las primeras precipitaciones otoñales ocasionan rehidratación de los tejidos pero con los datos obtenidos con dendrómetros no es posible conocer con exactitud si esa hidratación va acompañada de la reactivación de la actividad cambial. A partir del mes de diciembre sí se aprecia en todos los individuos que las variaciones en la dimensión radial corresponden a fases de hidratación motivadas por precipitación y no existe crecimiento.

Se aprecia en las Figuras 7 y 8 que la variación en la intensidad de crecimiento entre los individuos de una misma parcela puede ser muy elevada, aunque las fases fenológicas sean en general muy parecidas. Así, el individuo que más crece y el que menos crece pertenecen a la misma parcela (TO). Esta característica está en consonancia con el hecho de que en el modelo de crecimiento mensual el efecto árbol es significativo.

## 5. Discusión

El estudio realizado revela la existencia de diferencias significativas en el crecimiento de la encina entre las distintas zonas analizadas. Las elevadas precipitaciones en TO en los meses de Abril y Mayo, que produjeron un importante aumento en la reserva de agua del suelo, parecen ser la causa de que el crecimiento en esta zona fuera más intenso que en BA y HR en el periodo de primavera-principios de verano. La medición del crecimiento con dendrómetros de banda presentada en este trabajo no ha completado un periodo vegetativo, por lo que se desconocen los valores de crecimiento de los meses de Marzo de 2008 y Abril de 2008. Posiblemente, de haber sido incluidos en el estudio, y debido a la fenología más temprana en las parcelas de HR y BA (indicada por los datos de los dendrómetros electrónicos), las diferencias estimadas entre TO y HR hubiesen sido menores. Igualmente, las diferencias encontradas entre HR y BA se deben fundamentalmente al mayor crecimiento experimentado en HR en Septiembre de 2008. Este crecimiento fue ocasionado por una intensa hidratación tras el primer día de precipitación del otoño (recogida por los dendrómetros electrónicos), por lo que en un análisis posterior, con un mayor número de

meses de estudio y más periodos vegetativos, se podrán confirmar y cuantificar más adecuadamente estas diferencias.

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) 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 son posiblemente debidos a rehidrataciones y no a la generación de nuevas células por actividad cambial. Este hecho se observa en los datos de los dendrómetros electrónicos cuando tras un aumento de la dimensión radial existe, al cabo de unos días una contracción hasta la misma posición inicial. La existencia o no de actividad cambial no puede ser verificada con ninguno de los 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 una parada vegetativa clara en los meses de Diciembre, Enero y Febrero ocasionada por bajas temperaturas. Este patrón de crecimiento ha sido constatado 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. (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.

La detención del crecimiento en HR ya en el mes de Junio, más temprana que en el resto de las zonas, parece corresponderse con una limitación de recursos hídricos ya que la reserva el suelo en esa zona alcanza ya a principios de ese mes valores similares a los del final del verano, mientras que en TO y BA todavía disponen de recursos hídricos para el crecimiento. La detención temprana del crecimiento al final del otoño que se produce en TO es debida a la reducción más brusca de la temperatura en esa zona por su mayor continentalidad: la disminución de la temperatura del suelo que se experimenta de Octubre a Noviembre es mucho más acusada en TO que en el resto de zonas y la temperatura media de las mínimas del aire se aproxima ya 0°C, alcanzándose valores inferiores a los umbrales que posibilitan el crecimiento.

El hecho de que el efecto árbol sea significativo abre la posibilidad de investigar las causas (edad, tamaño, microtopografía, características edáficas, competencia por los recursos, motivos genéticos) que explican las diferencias encontradas a ese nivel. Sin embargo, el tamaño del individuo no explica esas diferencias posiblemente porque, debido a diferencias genéticas o microecológicas, las dimensiones del individuo pueden no reflejar la fase de crecimiento en la que éste se encuentra dentro de la vida del mismo. En este sentido la

introducción de la edad como covariable sería una elección más adecuada, pero el desconocimiento de la edad de los individuos analizados, así como la dificultad de su estudio por medios no lesivos en el caso de esta especie, dificultan la utilización de la misma.

Los datos proporcionados por los dendrómetros electrónicos han permitido conocer con detalle las fases de la fenología cambial de los individuos analizados y constan algunos de los hechos discutidos en la aproximación mensual del crecimiento. Se constata con exactitud la finalización del crecimiento temprana en HR y la prolongación del crecimiento en TO hasta mediados de Julio. Permite igualmente indicar que el crecimiento medido con dendrómetros de banda en Septiembre Octubre y Noviembre corresponde a hidrataciones periódicas debido a periodos de precipitación, aunque no se puede excluir la existencia de actividad cambial, que deberá ser corroborada por técnicas de análisis celular. Dado que los primeros datos conjuntos a las tres zonas corresponden a mediados de Marzo de 2008 no se ha podido analizar con detalle las condiciones climáticas que marcan el inicio del periodo vegetativo aunque sí se ha constatado una mayor intensidad de crecimiento en Abril en HR, debido a la existencia de temperaturas más elevadas y existencia de recursos hídricos suficientes.

La incorporación de un mayor número de meses y periodos vegetativos a este estudio permitirá profundizar en el conocimiento de la influencia de características edáficas y climáticas en el crecimiento de esta especie. En una futura aproximación se incorporarán las variables climáticas a los modelos estadísticos para explicar y cuantificar la influencia climática y se analizará igualmente la influencia de la microtopografía, competencia y variables edáficas en la explicación del efecto árbol. Con los datos suministrados por los sensores electrónicos se realizará el cálculo de los ciclos de contracción, dilatación y crecimiento diarios, con claras implicaciones ecofisiológicas y se relacionarán con las variables climáticas medidas. La incorporación de nuevas parcelas de estudio en áreas de clima contrastado de la especie permitiría obtener información muy valiosa para profundizar en el conocimiento de los aspectos relacionados con el crecimiento de la especie.

## 6. 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 crecimiento más temprano y parada estival más temprana en la parcela de Huelva y parada invernal más temprana en la parcela 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 métodos utilizados (dendrómetros de banda y electrónicos) 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.
- La combinación de datos proporcionados por dendrómetros de banda y electrónicos es una potente herramienta que permite, por un lado, la elaboración de modelos explicativos y/ o predictivos que pueden ser utilizados para mejorar la gestión de la especie y, por otro relacionar el crecimiento y oscilaciones diarias de la dimensión del tronco con procesos ecofisiológicos.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos 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). Queremos agradecer la colaboración de la Diputación de Huelva por permitir la instalación de la parcela HR en una finca de su propiedad y de todas las personas que han colaborado en la instalación del dispositivo experimental y en la recogida de datos.

## 8. Bibliografía

ALLÚE, J.L.; 1990. Atlas fitoclimático de España. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 221 pp. 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. *For 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 DE 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.

NABAIS, C.; FREITAS, H.; AND HAGEMMEYER, 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. *For 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. 609 pp. 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. En: VÁZQUEZ-PIQUÉ, J.; PEREIRA, H.; GONZÁLEZ-PÉREZ, A. (eds.): Suberwood: new challenges for the integration of cork oak forests and products. 123-136. Universidad de Huelva. Huelva.