

## Crecimiento diametral de la encina (*Quercus ilex* L.) en un año de abundante precipitación estival: efecto de la irrigación previa y de la fertilización

Xavier Mayor, Ricard Belmonte, Anselm Rodrigo, Ferran Rodà y Josep Piñol

Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra.

**Key words:** Mediterranean ecosystems, nitrogen, nutrient limitation, fertilization, irrigation, tree growth, Prades, rainfall patterns.

**Abstract.** *Stem diameter growth in Quercus ilex L. during a year of abundant summer rainfall: effect of fertilization and previous irrigation.* Diameter growth of 1131 *Quercus ilex* stems in a closed-canopy stand in the Prades mountains (NE Spain) was measured in 1992, a year of higher than average summer rainfall, to know (i) whether increased water availability in summer resulted in increased stem diameter growth in the same year, and (ii) whether a higher light interception capacity, induced by soil fertilization or previous irrigation had a positive effect on tree growth during a year when summer water stress was reduced. Twenty four experimental plots were used in a complete factorial design involving three factors each at two levels: nitrogen fertilization (0 and 250 kg N/ha), phosphorus fertilization (0 and 125 kg P/ha), and irrigation (0 and 20 mm per week during the warm seasons of 1989, 1990 and 1991). Fertilizers were applied in March 1989, and the same dose repeated in March 1992. Mean stem diameter growth per plot during 1992, averaged over all plots, was 0.83 mm yr<sup>-1</sup> ( $\pm 0.09$  S.E. among plot means), a growth rate roughly double that of the three preceding years. Thus, *Q. ilex* is able to use summer rainfall to increase its stem diameter growth in the same year. When all *Q. ilex* stems were included in the analysis, none of the three experimental factors significantly affected stem diameter growth during 1992. For dominant stems, N fertilization significantly increased mean stem diameter growth by 42%, compared to non-fertilized stems, while P fertilization and previous irrigation did not. Thus, increased light interception capacity by itself (as shown by the previously irrigated plots) was not conducive to increased stem diameter growth in a year of relatively high water availability. However, increased light interception capacity of the crowns coupled with an enhanced N supply (as in the N-fertilized plots) did so in dominant trees. This is the first time that a significant effect of N fertilization on stem diameter growth of *Q. ilex* is reported for the Prades experimental plots.

**Resumen.** Se midió el crecimiento diametral de 1131 pies de encina en monte bajo de vuelo cerrado en el monte de Poblet (Prades, Tarragona) durante 1992, un año con precipitación estival superior a la media, para averiguar (1) si la mayor disponibilidad estival de agua se traducían en un mayor crecimiento de los troncos en el mismo año, y (2) si una mayor capacidad de intercepción de la luz, como resultado de la irrigación previa o de la fertilización del suelo tenía un efecto positivo sobre el crecimiento en un año lluvioso. Se utilizaron veinticuatro parcelas en un diseño factorial completo con tres factores a dos niveles cada uno: fertilización con nitrógeno (0 y 250 kg N/ha), fertilización con fós-

foro (0 y 125 kg P/ha) e irrigación (0 y 20 mm semanales durante las estaciones cálidas de 1989, 1990 y 1991). Los fertilizantes se aplicaron en marzo de 1989, y la misma dosis se repitió en marzo de 1992. El crecimiento diametral medio durante 1992, promediado sobre todas las parcelas, fue de 0.83 mm año<sup>-1</sup> ( $\pm 0.09$  F.E. entre parcelas), una tasa aproximadamente el doble que la media de los tres años anteriores. La encina es pues capaz de utilizar la precipitación estival para aumentar su crecimiento diametral en el mismo año. Analizando conjuntamente los datos de todas las encinas, ninguno de los tres factores experimentales tuvo efectos significativos sobre el crecimiento de 1992. Sin embargo, para los pies dominantes, la fertilización con N aumentó significativamente el crecimiento diametral medio en un 42% con respecto a las encinas dominantes que recibieron otros tratamientos, mientras que la fertilización con P y la irrigación previa no tuvieron efecto significativo. Por tanto, la mayor capacidad de intercepción de luz por sí misma (como en las parcelas previamente irrigadas) no se tradujo en un mayor crecimiento diametral en un año de buena disponibilidad hídrica. En cambio, la mayor capacidad de intercepción de luz del dosel combinada con una mejor nutrición nitrogenada (como en las parcelas fertilizadas con N) sí tuvo tal efecto. Esta es la primera vez que se demuestra que el N es un factor limitante del crecimiento diametral de los troncos de las encinas en el monte bajo de las montañas de Prades.

## Introducción

La producción de los ecosistemas forestales está generalmente limitada por la disponibilidad de agua, por la disponibilidad de nutrientes o por la capacidad que tenga la vegetación de interceptar la luz. El papel relativo de estos factores y de sus interacciones, en diferentes situaciones ecológicas, interesa para mejorar el manejo de las masas forestales y para predecir las consecuencias de cambios ambientales (Landsberg, 1986; Pereira & Landsberg, 1989; Russell *et al.*, 1989; Nambiar *et al.*, 1990; Raison & Myers, 1992; Rasmussen *et al.*, 1993). En ecosistemas mediterráneos, el agua es probablemente un factor limitante de primera magnitud, aunque la mayor parte de la evidencia al respecto es de tipo observacional. El papel limitante del N o del P se ha puesto de manifiesto experimentalmente en diversos ecosistemas arbustivos mediterráneos (Hellmers *et al.*, 1955; Oechel *et al.*, 1981; Specht, 1981; McMaster *et al.*, 1982; Witkowski *et al.*, 1990).

Existe muy poca información sobre los efectos de las disponibilidades de agua y nutrientes sobre la capacidad de intercepción de la luz, el crecimiento de los árboles y la producción forestal en bosques mediterráneos. En un encinar de monte bajo sobre sustrato calcáreo en el sur de Francia, la fertilización del suelo con NPK aumentó el crecimiento diametral, aunque sólo en un año de precipitación abundante (Cartan-Son *et al.*, 1992). En un encinar de monte bajo sobre sustrato silicatado en las montañas de Prades (Tarragona), nuestro equipo está realizando desde 1988 un experimento de fertilización del suelo y riego para averiguar cuáles son las respuestas de los árboles y del bosque a un aumento de la disponibilidad de agua, N o P. Durante los tres primeros años del experimento (1989-1991), el riego aumentó significativamente el crecimiento diametral de las encinas, pero no así la fertilización con N o/y con P (Mayor & Rodà en prensa). Midiendo con un ceptómetro la radiación fotosintéticamente activa que llegaba

al suelo del bosque, se encontró que tanto el factor riego como el factor fertilización con N aumentaron significativamente la extinción de la luz al atravesar la bóveda forestal (Sabaté, 1993), probablemente debido a un incremento del índice de área foliar. Los tratamientos experimentales afectaron también al tamaño de las hojas y al crecimiento de los brotes jóvenes (Sabaté *et al.*, 1992), a las concentraciones foliares de nutrientes (Sabaté & Gracia en prensa) y al desfronde (Diego & Rodà, 1992).

La precipitación estival en Prades fue muy abundante en 1992 (Fig. 1). Este hecho nos ofreció la oportunidad de medir los crecimientos diametrales de la encina en las parcelas experimentales en un año en el que presumiblemente la disponibilidad de agua durante los meses cálidos fue muy superior a la habitual, y compararlos con los crecimientos medidos en los tres años anteriores. Por otra parte, las parcelas fertilizadas con N (en 1989 y de nuevo en 1992) y las parcelas regadas (durante 1989, 1990 y 1991) interceptaban en abril de 1992 una cantidad significativamente mayor de luz que, respectivamente, las parcelas no fertilizadas con N y las no regadas (Sabaté, 1993). Esta situación nos llevó a preguntarnos si esta mayor cantidad de luz interceptada por parte de las copas tendría un efecto positivo sobre el crecimiento diametral en un año de buena disponibilidad hídrica.

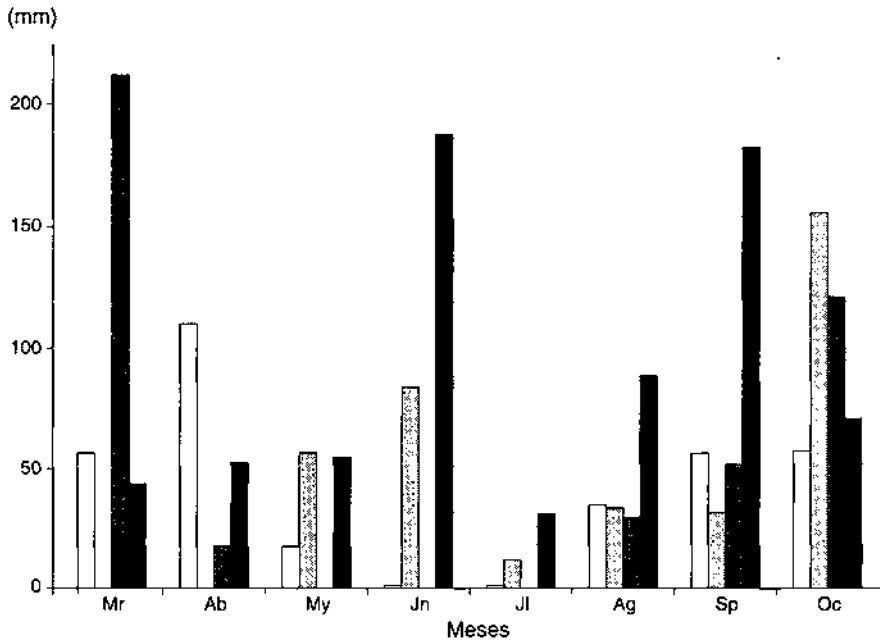


Figura 1. Precipitación mensual (mm), desde marzo a octubre, correspondiente a los años 1989 (□), 1990 (▨), 1991 (▩), y 1992 (■).

## Área de estudio

El estudio se realizó en el área experimental de la Sierra de Prades (Tarragona, 41°13' N, 0°55' E), en una zona de encinar en monte bajo que ha sido ampliamente descrita en los diversos trabajos ecológicos que allí se han realizado (Bellot, 1989; Lledó, 1990; Piñol, 1990; Sabaté, 1993; Sala, 1992). La precipitación media anual en Riudabella (la estación meteorológica más cercana al área de estudio, a unos cuatro kilómetros de la misma) durante el período 1957-1988 fue de 658 mm. La sequía estival es pronunciada y suele durar entre tres y cinco meses. En dos pequeñas cuencas cercanas, la evapotranspiración anual representa alrededor del 90% de la precipitación recibida (Piñol *et al.*, 1991). La temperatura media anual se estima alrededor de 12°C. El suelo es un xerochrept franco-arcilloso, poco profundo, pedregoso y bien drenado, desarrollado sobre un sustrato rocoso de filitas y areniscas metamórficas.

En una ladera orientada al este, a 900 m de altitud, seleccionamos una zona de encinar de monte bajo de vuelo cerrado para realizar un experimento de fertilización y riego. La pendiente media era de 24°. En 1988, la densidad media de pies con un diámetro  $\geq 2$  cm a 50 cm del suelo era de 18300 pies/ha, y el área basal media a 50 cm del suelo era 47.9 m<sup>2</sup>/ha. La encina era la especie dominante, con el 79% de los pies de diámetro  $\geq 2$  cm y el 91% de los pies dominantes. La altura media de las encinas dominantes era 6 m. Casi todos los pies de encina eran de rebrote. El vuelo era muy cerrado y el sotobosque muy escaso.

## Métodos

Se establecieron veinticuatro parcelas de 8x8 m, distribuidas en tres bloques. Cada parcela de cada bloque recibió uno de los ocho tratamientos resultantes de la combinación factorial de tres factores: riego (a razón de unos 20 mm por semana), fertilización con N (250 kg N ha<sup>-1</sup> en forma de nitrato amónico) y fertilización con P (125 kg P ha<sup>-1</sup> en forma de superfosfato cálcico). El riego se efectuó por goteo durante la estación cálida y durante tres años (1989, 1990 y 1991). El aporte medio de agua de riego fue de 180, 300 y 178 mm en los tres años consecutivos. Durante el año 1992 no se regó. La fertilización se realizó a mano con fertilizante sólido en una dosis única en marzo de 1989. En marzo de 1992 se volvió a fertilizar con los mismos nutrientes y las mismas dosis aplicadas en 1989.

En el cuadrado inscrito de 6x6 m de cada parcela, se midió en diciembre de 1988 el diámetro a 50 cm del suelo de todos los pies vivos que tuvieran, a esta altura, un diámetro  $\geq 2$  cm. Los diámetros se midieron con pie de rey para los pies de diámetro 2-3 cm (dos mediciones perpendiculares de las que se tomó la media aritmética) y con cinta forestal para los pies de diámetro  $> 3$  cm. Se anotó la especie de cada pie, su posición en el vuelo (dominante, intermedio o suprimido), se numeró y se marcó de manera permanente el punto de medida, a fin de aumentar la exactitud de los crecimientos determinados en inventarios posteriores. Se vol-

vieron a medir los diámetros de todos los pies en diciembre de 1991 y diciembre de 1992. Para minimizar los errores de medición, al medir el diámetro de cada pie en 1992 se comparaba con el de 1991, y si diferían en valor absoluto en más de 3 mm se repetía la medición para corroborarla. El incremento de diámetro (con corteza) se obtuvo, para cada pie, mediante la diferencia entre los diámetros inicial y final de cada período considerado. Los crecimientos durante los tres primeros años tras el inicio de los tratamientos (1989-1991) se describen en Mayor & Rodà (en prensa). El presente estudio se centra en los crecimientos diametrales durante el cuarto año (1992), de 1131 pies de encina vivos en diciembre de 1992 en las veinticuatro parcelas. De estos, el 48% eran pies dominantes, 14% pies intermedios y 38% pies suprimidos.

### *Análisis estadísticos*

El efecto de los tratamientos experimentales sobre el incremento diametral medio de cada parcela en 1992 se valoró mediante un análisis factorial de la varianza, con cuatro factores de efectos fijos: bloque, irrigación, fertilización con N y fertilización con P. La variable dependiente fue el crecimiento diametral medio de los pies de encina de cada parcela. Se utilizó el test t de Student, para datos apareados, para averiguar si el incremento diametral medio de las parcelas difería significativamente entre los dos periodos considerados (1989-1991 y 1992). Si no se especifica lo contrario, las afirmaciones sobre significación estadística se refieren al nivel de significación 0.05.

## **Resultados**

### *Todas las encinas*

Al considerar conjuntamente todas las encinas medidas, ninguno de los tres factores experimentales (irrigación, fertilización con N y fertilización con P) tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento diametral medio durante 1992. No hubo tampoco interacciones significativas entre estos factores. Al eliminar del modelo estadístico del ANOVA estos factores e interacciones no significativos para ganar grados de libertad, el bloque sí tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento ( $F_{2, 21} = 3.57$ ,  $P = 0.046$ ), debido a los mayores crecimientos de las encinas del bloque 2. Esta diferencia no se había producido en los tres primeros años tras el inicio de los tratamientos (1989-1991, Mayor & Rodà en prensa) y deja de ser significativa si se descuenta el efecto de la densidad inicial de encinas en cada parcela (ANCOVA).

Puesto que ni la fertilización ni el riego previo afectaron significativamente al crecimiento diametral de las encinas en 1992, tiene sentido promediar los resultados de todas las parcelas, independientemente del tratamiento recibido. El

crecimiento diametral medio en 1992 fue de  $0.83 \text{ mm año}^{-1}$  ( $\pm 0.09$  E.E. entre parcelas,  $n=24$ ). Los crecimientos medios por tratamientos, simples y agrupados, se muestran en la Tabla 1. Los crecimientos diametrales medios por parcela en 1992 son significativamente mayores que los registrados en el periodo 1989-1991 (test t de Student apareado,  $t_{0.05, 22} = -4.18$ ,  $P = 0.0004$ ). El crecimiento medio ( $\text{mm año}^{-1}$ ;  $\pm$  E.E. entre parcelas,  $n=24$ ) fue  $0.45 \pm 0.04$  durante 1989-1991, comparado con  $0.83 \pm 0.09$  en 1992. Si restringimos la comparación a las tres parcelas control (las que no recibieron ni fertilización ni riego), los crecimientos medios ( $\pm$  E.E. entre parcelas,  $n=3$ ) fueron  $0.31 \pm 0.07$  y  $0.67 \pm 0.19 \text{ mm año}^{-1}$  en 1989-1991 y 1992, respectivamente.

### *Encinas dominantes*

Al evaluar los resultados anteriores hay que tener en cuenta que el crecimiento varía mucho según la posición del pie en el vuelo. Sólo los pies dominantes (aquellos pies que reciben radiación solar directa) tuvieron crecimientos apreciables ya que, debido a la escasez de luz u otros factores, el crecimiento de los pies suprimidos e intermedios fue muy pequeño o nulo. El crecimiento diametral medio en 1992 ( $\text{mm año}^{-1}$ ;  $\pm$  E.E. entre pies) fue  $1.75 \pm 0.07$  ( $n=528$ ) para los pies domi-

**Tabla 1.** Crecimiento diametral medio ( $\text{mm año}^{-1} \pm$  E.E. entre parcelas) durante 1992 de todas las encinas medidas, para cada tratamiento y para los tratamientos agrupados ( $n$  = número de parcelas).

Tratamientos	n	Crecimiento diametral
Control	3	$0.67 \pm 0.19$
Fertilización con N (N)	3	$1.01 \pm 0.39$
Fertilización con P (P)	3	$0.81 \pm 0.26$
N+P	3	$0.71 \pm 0.28$
Irrigación (I)	3	$0.87 \pm 0.34$
I+N	3	$1.12 \pm 0.05$
I+P	3	$0.55 \pm 0.35$
I+N+P	3	$0.90 \pm 0.14$
<b>Tratamientos agrupados</b>		
Sin irrigación	12	$0.80 \pm 0.13$
Con irrigación	12	$0.86 \pm 0.12$
Sin N	12	$0.72 \pm 0.13$
Con N	12	$0.94 \pm 0.12$
Sin P	12	$0.92 \pm 0.13$
Con P	12	$0.74 \pm 0.12$
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b><math>0.83 \pm 0.09</math></b>

nantes y  $-0.11 \pm 0.04$  ( $n=582$ ) para los no dominantes. El crecimiento medio por parcela de las encinas dominantes en 1992 aumentó significativamente debido a la fertilización con N (ANOVA,  $F_{1,23}=5.8$ ,  $P=0.024$ ).

El crecimiento diametral medio de las encinas dominantes ( $\pm$  E.E. entre parcelas,  $n=12$  en cada caso) fue  $1.54 \pm 0.23$  mm año<sup>-1</sup> en las parcelas no fertilizadas con N, y  $2.19 \pm 0.14$  mm año<sup>-1</sup> en las fertilizadas con N. La fertilización con N (en 1989 y repetida en 1992) aumentó por tanto el crecimiento diametral medio de las encinas dominantes, durante 1992, en un 42% respecto a las no fertilizadas con N. Considerando todas las encinas (dominantes, intermedias y suprimidas), la fertilización con N no había tenido efectos significativos sobre el crecimiento diametral durante los tres primeros años tras la fertilización inicial (Mayor & Rodà en prensa); el efecto sobre las encinas dominantes tampoco fue significativo durante ese período (ANOVA bifactorial con irrigación y fertilización con N; para el N:  $F_{1,20}=1.86$ ,  $P=0.19$ ), aunque el crecimiento medio por parcela fue un 17% mayor en las parcelas fertilizadas que en las no fertilizadas con N.

En 1992, ni la fertilización con P ni el riego previo afectaron significativamente al crecimiento diametral de las encinas dominantes. El bloque tuvo efectos significativos debido al mayor crecimiento de las encinas dominantes en el bloque 2. No hubo ninguna interacción significativa entre los cuatro factores estudiados. Al descontar, mediante un ANCOVA, el efecto de la densidad inicial de encinas dominantes sólo la fertilización con N tuvo efectos significativos. En todos los tratamientos, el crecimiento de las encinas dominantes durante 1992 fue muy superior al de los tres años anteriores (Tabla 2).

**Tabla 2.** Crecimientos diametrales medios de las encinas dominantes (mm año<sup>-1</sup>  $\pm$  E.E. entre parcelas,  $n=3$  parcelas en cada tratamiento) durante los primeros tres años (1989-1991) y en el cuarto año (1992) tras el inicio de los tratamientos. (Los tratamientos de fertilización se efectuaron en marzo de 1989 y de 1992. El riego se efectuó durante las estaciones cálidas de 1989, 1990 y 1991.)

Tratamientos	Crecimiento diametral	
	1989-1991	1992
Control	$0.56 \pm 0.10$	$1.45 \pm 0.42$
Fertilización con N (N)	$0.69 \pm 0.05$	$2.23 \pm 0.53$
Fertilización con P (P)	$0.65 \pm 0.03$	$1.82 \pm 0.53$
N+P	$0.70 \pm 0.18$	$1.98 \pm 0.10$
Irrigación (I)	$1.04 \pm 0.23$	$1.68 \pm 0.62$
I+N	$1.30 \pm 0.15$	$2.50 \pm 0.17$
I+P	$0.85 \pm 0.06$	$1.23 \pm 0.47$
I+N+P	$0.95 \pm 0.13$	$2.04 \pm 0.09$

## Discusión

### *Fiabilidad de los crecimientos medidos*

A veces se expresan dudas sobre la fiabilidad de los crecimientos diametrales de especies de crecimiento lento, como la encina, que hayan sido determinados por mediciones del diámetro repetidas a intervalos cortos de tiempo (uno o pocos años). Esta reserva está plenamente justificada cuando se refiere al crecimiento de árboles individuales puesto que, por ejemplo en el intervalo de un año, el crecimiento diametral de un árbol dominante puede ser del mismo orden que la incertidumbre de la medición, en especial si la corteza es rugosa y la sección del tronco tiene forma irregular. Las precauciones que hemos descrito en los métodos reducen pero no eliminan este problema. Sin embargo, la reserva que comentamos deja de ser válida cuando se considera el crecimiento medio de un número elevado de árboles, como es el caso del presente artículo. Los errores de medición asociados a irregularidades del tronco, así como los errores de lectura y de transcripción, actúan de forma aleatoria. Por lo tanto, la media de los crecimientos medidos en un número elevado de árboles (cien o más) es un estimador no sesgado del crecimiento medio real. Nuestros resultados demuestran que es posible obtener datos fiables del crecimiento medio de encinas dominantes por medidas repetidas con un intervalo de un solo año, por lo menos en años de precipitación estival abundante. Concluimos que los crecimientos medios obtenidos en este trabajo son un material válido para analizar las respuestas a la precipitación estival y a los tratamientos experimentales.

### *Crecimiento y precipitación estival*

La precipitación en el año 1992 fue de 855 mm, mientras que el promedio de los tres años anteriores fue de 516 mm año<sup>-1</sup>. La precipitación en 1992 superó incluso la cantidad media de agua recibida por las parcelas regadas durante 1989-1991 (suma de la precipitación y del riego: 735 mm año<sup>-1</sup>). Especialmente relevante es que las precipitaciones estivales fueron muy superiores en 1992 a las de los tres años anteriores (Fig. 1) y a la que es habitual en las montañas de Prades. Las encinas dominantes crecieron en 1992 aproximadamente el doble que la media anual de los tres años anteriores, probablemente porque utilizaron la mayor disponibilidad de agua durante el verano para aumentar el crecimiento secundario del tronco. Este resultado concuerda con los obtenidos mediante métodos dendrocronológicos en un encinar de monte bajo en el sur de Francia (Zhang & Romane, 1991). Se pone así de manifiesto la gran plasticidad de la encina, especie que es capaz no sólo de amortiguar el estrés hídrico estival gracias a sus profundas raíces, sino también de aprovechar la irregularidad del clima mediterráneo aumentando su tasa de crecimiento en años en los que, excepcionalmente, la precipitación estival es abundante.



A diferencia de las encinas dominantes, el crecimiento de las encinas suprimidas y de las intermedias fue nulo o muy pequeño en 1992; a pesar de las abundantes precipitaciones. Tampoco durante 1989-1991 las encinas suprimidas e intermedias respondieron al riego, mientras que las dominantes sí lo hicieron (Mayor & Rodà en prensa). Es decir, en monte bajo denso, sólo los pies dominantes tienen la capacidad de aumentar su crecimiento diametral frente a una mayor disponibilidad de agua, sea experimental como en 1989-1991 o natural como en 1992. La respuesta a un aumento de recursos edáficos depende por tanto de la posición del pie dentro del vuelo. Los pies dominantes están en mejores condiciones de aprovechar el agua disponible para crecer, al estar más iluminados y tener mayores copas, más superficie de hojas y, probablemente, sistemas radiculares más extensos que los pies suprimidos o intermedios que no tienen acceso a la radiación directa.

#### *Efectos de la irrigación previa y de la fertilización*

La irrigación durante los meses cálidos de los tres años anteriores no tuvo efecto sobre el crecimiento diametral de las encinas dominantes en 1992. Esto puede parecer lógico, puesto que no se regó durante 1992. Sin embargo, pese a haber cesado el riego, podría esperarse que las encinas de las parcelas previamente regadas creciesen en 1992 más que las no regadas, puesto que (1) interceptaban una mayor cantidad de luz (Sabaté, 1993), probablemente debido a un mayor índice de área foliar, (2) habían crecido significativamente más que las no regadas durante 1989-1991 (Mayor & Rodà en prensa) y (3) es probable que tuviesen más yemas y mayores reservas de carbohidratos. De hecho, es frecuente que condiciones favorables de crecimiento durante uno o más años aumenten el crecimiento de los árboles también en años sucesivos (Fritts, 1976). Nuestros resultados demuestran que las encinas previamente regadas no crecieron significativamente más que las no regadas durante 1992. Esto sugiere que, en encinares densos en monte bajo, unas condiciones hídricas favorables en años anteriores y una mayor capacidad de intercepción de luz no bastan por sí solas para, cuando se da un verano lluvioso, generar un crecimiento diametral superior al de encinas sin las condiciones mencionadas.

En cambio, las encinas de las parcelas fertilizadas con N (pero no las de las parcelas fertilizadas con P), sí crecieron en 1992 significativamente más que las no fertilizadas. Igual que las parcelas previamente regadas, las parcelas fertilizadas con N tenían en primavera de 1992 mayor capacidad de intercepción de luz que las no fertilizadas (Sabaté, 1993). La fertilización con N aumentó también la concentración foliar de N (Sabaté & Gracia en prensa), indicando una mejor nutrición nitrogenada. Por tanto, una mayor capacidad de intercepción de luz, combinada con una mayor disponibilidad de N, sí se tradujo en un mayor crecimiento diametral tras un verano lluvioso, en comparación con encinas sin tales condiciones. El contraste de este resultado con el de las parcelas previa-

mene regadas pone de manifiesto la importancia de la disponibilidad de nutrientes para un mayor aprovechamiento (en términos de crecimiento) de años con precipitación estival abundante.

Es interesante señalar que durante los tres primeros años tras la primera fertilización, el aporte de N se tradujo en una mayor producción de hojas, tallos de brotes jóvenes y frutos (Sabaté, 1993; Sabaté *et al.*, 1992; V. Diego com. pers.), pero no en un mayor crecimiento diametral de los troncos (Mayor & Rodà en prensa), ni siquiera en los pies dominantes. Es decir, una mayor disponibilidad de N se invirtió preferentemente en aumentar la biomasa de las copas, en acelerar la renovación de los elementos de las mismas y en fructificación. Al cuarto año, y tras una segunda fertilización, el aporte de N aumentó el crecimiento diametral de los pies dominantes. Previamente demostramos que la disponibilidad de agua limitaba en las montañas de Prades el crecimiento diametral de las encinas en monte bajo de vuelo cerrado (Mayor & Rodà en prensa). En el presente trabajo demostramos por primera vez que el N es asimismo un factor limitante del crecimiento diametral en estos encinares. Este resultado supone un respaldo experimental en favor de técnicas de manejo que intenten reducir las pérdidas de N en los bosques mediterráneos, sean por fuegos recurrentes, por erosión o por extracción en las talas.

### Agradecimientos

Agradecemos a Victoria Diego y a Santi Sabaté su intensiva colaboración en el experimento de fertilización y riego. Muchas personas nos ayudaron en los tres inventarios forestales realizados. A todas ellas, nuestro agradecimiento. Este trabajo se financió mediante los proyectos LUCDFEME de ICONA, CICYT FOR90-0432, y DM2E (CEE-Environment).

### Bibliografía

- Bellot, J. 1989. Análisis de los flujos de deposición global, trascolación, escorrentía cortical y deposición seca en el encinar mediterráneo de l'Avic (Sierra de Prades, Tarragona). Tesis Doctoral. Universidad de Alicante.
- Cartan-Son, M., Floret, C., Galan, M.J., Grandjanny, M., Le Floch, E., Maistre, M., Perret, P. & Romane, F. 1992. Factors affecting radial growth of *Quercus ilex* L. in a coppice stand in southern France. *Vegetatio* 99-100: 61-68.
- Diego, V. & Rodà, F. 1992. Litterfall response to increased availability of water, nitrogen and phosphorus in a holm oak forest. In: A. Teller, P. Mathy & J.N.R. Jeffers (eds.) *Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes*. Elsevier. London. pp. 673-674.
- Fritts, H.C. 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press. London.
- Hellmers, H., Bonner, J.F. & Kelleher, J.M. 1955. Soil fertility: a watershed management problem in the Sant Gabriel mountains of southern California. *Soil Sci.* 80: 189-197.
- Landsberg, J.J. 1986. *Physiological Ecology of Forest Production*. Academic Press. London.

- Lledó, M.J. 1990. Compartimentos y flujos biogeoquímicos en una cuenca de encinar del Monte Poblet. Tesis doctoral. Universidad de Alicante.
- Mayor, X. & Rodà, F. (en prensa). Effects of irrigation and fertilization on stem diameter growth in a mediterranean holm oak forest. *For. Ecol. Manage.*
- McMaster, G.S., Jow, W.M. & Kummerow, J. 1982. Response of *Adenostoma fasciculatum* and *Ceanothus greggii* chaparral to nutrient additions. *J.Ecol.* 70: 745-756.
- Nambiar, E.K.S., Squire, R., Cromer, R. Turner, J. & Boardman, R. (eds.) 1990. Management of water and nutrient relations to increase forest growth. *For. Ecol. Manage.* 30:1-486.
- Oechel, W.C., Lowell, W. & Jarrell, W. 1981. Nutrient and environmental controls on carbon flux in Mediterranean shrubs from California. In: N.S. Margaris & H.A. Mooney (eds.) *Components of Productivity of Mediterranean-climate Regions*. Dr. W. Junk. The Hague. pp. 53-59.
- Pereira, J.S. & Landsberg, J.J. (eds.) 1989. *Biomass Production by Fast-Growing Trees*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Piñol, J. 1990. Hidrologia i biogeoquímica de conques forestades de les Muntanyes de Prades. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Piñol, J., Lledó, M.J. & Escarré, A. 1991. Hydrological balance of two Mediterranean forested catchments (Prades, northeast Spain). *Hydrol. Sci. J.* 36: 95-107.
- Raison, R.J. & Myers, B.J. (eds.) 1992. *The biology of forest growth experiment*. *For. Ecol. Manage.* 52:1-311.
- Rasmussen, L., Brydges, T. & Mathy, P. (eds.) 1993. *Experimental Manipulation of Biota and Biogeochemical Cycling in Ecosystems*. Commission of the European Communities. Brussels.
- Russell, G., Marshall, B. & Jarvis, P.G. (eds.) 1989. *Plant Canopies: their Growth, Form and Function*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Sabaté, S. & Gracia, C. (en prensa). Canopy nutrient content of a *Quercus ilex* L. forest: Fertilization and irrigation effects. *For. Ecol. Manage.*
- Sabaté, S. 1993. Canopy structure and nutrient content in a *Quercus ilex* L. forest of Prades mountains: Effect of natural and experimental manipulation of growth conditions. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Sabaté, S., Calvet, S. & Gracia, C.A. 1992. Preliminary results of a fertilization-irrigation experiment in a *Quercus ilex* L. forest in relation to leaves and twigs characteristics. *Vegetatio* 99-100: 283-287.
- Sala, A. 1992. Water relations, canopy structure, and canopy gas exchange in a *Quercus ilex* forests: Variation in time and space. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Specht, R.L. 1981. Primary production in mediterranean-climate ecosystems regenerating after fire. In: F. Di Castri, D.W. Goodall & R.L. Specht (eds.) *Mediterranean-Type Shrublands*. Elsevier. Amsterdam. pp. 257-267.
- Witkowski, E.T.F., Mitchell, D.T. & Stock, W.D. 1990. Response of a Cape fynbos ecosystem to nutrient additions: shoot growth and nutrient contents of a proteoid (*Leucospermum parile*) and an ericoid (*Phyllica cephalantha*) evergreen shrub. *Acta Oecol.* 11: 311-326.
- Zhang, S.H. & Romane, F. 1991. Variations de la croissance radiale de *Quercus ilex* L. en fonction du climat. *Ann. Sci. For.* 48: 225-234.