

LOS CLAREOS TEMPRANOS (A LOS 5 AÑOS DE EDAD) REALIZADOS EN MASAS PROCEDENTES DE LA REGENERACIÓN NATURAL POST INCENDIO MEJORAN EL CRECIMIENTO COMO UNA CONSECUENCIA DE UNA MAYOR DISPONIBILIDAD DE NITROGENO

López-Serrano, Francisco R.^{1*}, de las Heras, Jorge, González-Ochoa, Ana I., García-Morote, F.A.¹, Moya-Navarro, D.

^{1*} Departamento de Ciencia y Tecnología Agroforestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario s/n.

02071 Albacete (Spain) E-mail: Fco.Lopez@uclm.es

Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario s/n.

02071 Albacete (Spain)

* Autor para correspondencia

Resumen

Tras un incendio, las dos diferentes estrategias reproductivas de la encina (*Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L.) y del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) dan lugar a altas densidades de regenerado. El crecimiento y estado sanitario de estos árboles parecen estar relacionados con la concentración foliar de algunos nutrientes, lo cual podría ser el resultado de una compleja interacción entre los nutrientes del suelo y la efectiva disponibilidad causada por el clima, agua y otros efectos del sitio y tratamientos culturales. Así, en este estudio se examina el efecto de los clareos (resalveos en encina) llevados a cabo en ambas especies en diferentes sitios (2 sitios para el pino carrasco, Yeste y Calasparra, Campillo de Altobuey para la encina), en el crecimiento y en la concentración foliar de N, P, K, Ca, Mg y C orgánico, mediante el seguimiento temporal de parcelas permanentes desde 1999 hasta 2001. Los clareos han mostrado ser eficientes en la mejora del crecimiento en ambas especies cuando se llevan a cabo con una edad de 5-6 años. Para ambas especies, se encontró una estacionalidad para los nutrientes foliares móviles (N, P, K), pero además los clareos-resalveos también incrementaron las concentraciones de estos nutrientes.

Palabras clave: Clareo, resalveo, crecimiento, nutrientes foliares, *Quercus ilex* ssp *rotundifolia*, *Pinus halepensis*

INTRODUCCIÓN

La encina (*Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L.) y el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) son las dos especies dominantes que aparecen separadamente o mezcladas entre si en el área mediterránea. Además, ambas especies, que han sido las más comúnmente quemadas en España, han sido capaces de desarrollar adaptaciones relacionadas con los efectos del fuego (NAVEH & KUTIEL, 1975). Estas especies tienen diferentes estrategias reproductivas: i) *Q. ilex* es una especie rebrotadora típica (bien tras las cortas o tras los incendios) que produce gran cantidad de rebrotes (chirpiales), siendo prácticamente despreciable la regeneración de por semilla durante este periodo (RETANA et al., 1999); ii) *Pinus halepensis* es una especie que únicamente se regenera por semilla y que puede colonizar extensas áreas tras un incendio (TRABAUD et al., 1985; TRABAUD, 1987). Para ambas especies, si los factores que afectan a la regeneración natural son favorables, desarrollarán altas densidades de brinzales (para el caso de pino, MARTÍNEZ-SÁNCHEZ et al., 1999) y chirpiales (para la encina, GRACIA et al., 1997). Por lo tanto, las comunidades que han sido originadas después de los incendios, muestran un excesivo número de individuos que podría retrasar el crecimiento del bosque o, en algunos casos, podría tener una influencia negativa en la velocidad de la sucesión secundaria debido a la competencia intra e inter específica (GRACIA et al., 1997).

Los clareos y claras son técnicas usuales llevadas a cabo en montes bajos del género *Quercus* (técnica denominada "resalveo"), existiendo estudios detallados relacionados con este tema (SERRADA et al., 1994; SERRADA, 1996; GRACIA et al., 1997). De forma similar, los clareos y claras en pinos están considerados como otra práctica habitual en la ordenación de montes (DANIEL et al. 1979). Sin embargo, hay pocos estudios científicos acerca del efecto de los clareos en las masas forestales después de incendios (sólo alguno ya publicado como el realizado en *Pinus halepensis*, GONZÁLEZ-OCHOA et al., 2004). Así, los clareos después de los incendios han probado ser un método efectivo para incrementar el crecimiento de los pies que permanecen en la masa forestal (NE'EMAN et al., 1995, GONZÁLEZ-OCHOA et al., 2004), debido a la redistribución de algunos recursos importantes, tales como el agua, nutrientes, luz, etc., entre los individuos (BREDA et al., 1995). Sin embargo, los efectos de los clareos en estos recursos (principalmente los nutrientes) no han sido completamente determinados. Hasta hoy en día, no hay mucha información referente a los efectos de los clareos en el estado de nutrición de plantas jóvenes de encina y pino carrasco, aunque algunos estudios se han desarrollado (ESCUADERO et al., 1992; HELMISAARI, 1992; ORGEAS et al., 2002, LÓPEZ-SERRANO et al., 2005).

Así, los principales objetivos de este trabajo fueron: i) comprobar si los clareos y resalveos después de un incendio mejoran el crecimiento de los pies en *Quercus ilex* y *P. halepensis* ii) contribuir al conocimiento de los niveles de concentración foliar de nutrientes en ambas especies y si estos niveles están influenciados por los clareos y iii) examinar las relaciones entre crecimiento y los niveles de concentración foliar de nutrientes durante el periodo de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Zonas de Estudio: En agosto de 1993 y 1994, tres incendios afectaron a un total de 500, 15000 and 30000 ha in Campillo de Altobuey (Cuenca), Yeste (Albacete) and Calasparra (Murcia) respectivamente. La precipitación y temperaturas medias de los últimos treinta años fueron: 517 mm y 12.67 °C en Campillo de Altobuey, 530 mm y 13.01 °C en Yeste y 290 mm y 16.5 °C en Calasparra. La textura del suelo era Arenosa-Limosa en Campillo, Arenosa en Yeste y Arenosa-Limosa en Calasparra; los valores de pH (usando el método de CLK para el estrato orgánico superior) fueron 7.7, 8.6 and 8.7, respectively. Las concentraciones de nutrientes del suelo, N total (%), P (ppm) y K (ppm) fueron respectivamente, 0.17, 3.58 and 415.8 en Campillo, 0.45, 3.60 y 200.1 en Yeste, y 0.19, 3.43 y 215.2 en Yeste.

El número de pies y la altura de los brinzales en Yeste (5 años de edad en 1999) fueron (media ± error estándar –ES–) 5116 ± 2134 pies/ha y 105.3 ± 12.4 cm respectivamente, comparados con 46000 ± 20400 pies/ha y 51.1 ± 8.5 cm en Calasparra. En Campillo de Altobuey había 14761 ± 1353 chirpiales/ha y 82.1 ± 3.6 cm, respectivamente (6 años de edad en 1999). En Febrero de 2001 hubo un espectacular rebrote de encina en Campillo de Altobuey, debido a los resalveos realizados en Noviembre de 1999.

Diseño experimental y mediciones: Debido a las dos diferentes estrategias de reproducción y a las diferentes densidades después del incendio, se llevó a cabo un diferente diseño experimental para cada sitio y especie. Para el pino carrasco y para ambos sitios (Yeste y Calasparra), se realizó un diseño experimental con 1 factor (clareo) y dos niveles (T_1 : clareo a una densidad final de

1600 pies/ha y T_c (control, esto es, sin clareo). Se realizaron 3 réplicas (parcelas de $15 \times 10 \text{ m}^2$) para cada tratamiento y sitio, excepto para el control en Yeste que tuvo 6 parcelas. En cada sitio, las parcelas estaban separadas por pasillos de 6 m de ancho, para evitar el efecto borde. Para la encina, se llevó a cabo un diseño factorial con 1 factor (clareo –resalveo–) con cuatro niveles: T_m (resalveo medio: hasta una densidad final de 5000 chirpiales/ha), T_d (resalveo drástico: hasta una densidad final de 1800 chirpiales/ha), T_f (resalveo total: hasta una densidad final de 0 chirpiales/ha) y C (control). Se realizaron 3 réplicas (parcelas de $15 \times 20 \text{ m}^2$) para cada tratamiento, siendo en total 12 parcelas ubicadas en un área llana y agrupadas en un bloque experimental de $45 \times 115 \text{ m}$, dejando pasillos de 5 m de ancho entre ellas. En los tres sitios, los tratamientos fueron asignados aleatoriamente y ejecutados en el verano de 1999 (para el pino) y en otoño de 1999 (para la encina).

Previo a los clareos y resalveos, todos los diámetros a 30 cm sobre el suelo (mm, excepto en Calasparra, que se midió a 20 cm) y la altura total (cm) fueron medidas. Así se obtuvo la distribución hipsométrica y diamétrica previa a los tratamientos. Una vez que los clareos fueron realizados, los árboles que quedaron fueron marcados con etiquetas de plástico, para poder evaluar el crecimiento en sucesivas mediciones. Para las parcelas control, se seleccionaron una muestra de 26 pinos por parcela (54 para encina). Todos los pies seleccionados fueron medidos inmediatamente después de aplicar los clareos (otoño 1999) y dos años después (Julio 2001 y Febrero 2001, respectivamente para pinos y encinas), para así obtener el incremento total en diámetro (Δd , mm) y el incremento en altura (Δh , cm).

En Febrero de 2001 en Campillo de Altobuey se constató un espectacular rebrote de encina debido a los resalveos y al rebrote natural. Desafortunadamente en Agosto de 2001, un nuevo fuego quemó nuestros ensayos. No obstante, estimamos la cobertura de nuevos brotes (C_{resp} , %) antes y después (3 meses más tarde, Oct-2001) del nuevo incendio. Además, seleccionamos una nueva zona que en 1993 no había sido quemada (próxima a la de estudio $< 100 \text{ m}$, y que denominaremos Zona 2 para diferenciarla de la Zona 1 correspondiente a nuestro diseño experimental), donde se replantearon 4 parcelas de $20 \times 15 \text{ m}^2$. Para estimar la cobertura de rebrote en ambas fechas (Feb-01 y Oct-01) en la Zona 1 y en Oct-01 en la Zona 2, se llevó a cabo un muestreo lineal sistemático (CANDFIELD, 1941; DE VRIES, 1986), que consistió en tres transectos lineales paralelos de 20 m de longitud, espaciados 5 m y separados 2.5 m de cada lado de la parcela experimental. En cada transecto se obtuvo la cobertura como el ratio “longitud de transecto intersectado por rebrotes dividido por la longitud de transecto (20 m)”. La media aritmética de los tres transectos fue considerado como la cobertura media de rebrotes por parcela.

Análisis de nutrientes foliares: La metodología seguida para analizar los nutrientes foliares (N, P, K, Ca, Mg y C orgánico) ha sido coherente con el “Manual on methods and criteria for harmonized sampling” (STEFAN et al., 2000). Para más detalles ver LÓPEZ-SERRANO et al. (2005). En cada sitio y para todos los niveles de los tratamientos se llevaron a cabo muestreos estacionales de follaje. Así para pino carrasco en Yeste las fechas de muestreo fueron: 19-Julio-1999, 11-Noviembre-1999, 23-Abril-2000, 19-Julio-2000, 11-Diciembre-2000, 4-Febrero-2001, 25-Abril-2001, 19-Julio-2001 y 16-October-2001. En Calasparra fueron: 28-Agosto-1999, 10-Diciembre-1999, 23-Abril-2000, 19-Julio-2000, 11-Diciembre-2000, 4-Febrero-2001, 20-Abril-2001, 18-Julio-2001 y 29-Noviembre-2001. Las fechas de muestreo de hojas en chirpiales de encina fueron: 19-Noviembre-1999, 15-Abril-2000, 24-Julio-2000, 15-Noviembre-2000, 7-Febrero-2001 y 23-Abril-2001. Para el rebrote de encina las fechas fueron: 24-Julio-2000, 15-Noviembre-2000, 7-Febrero-2001, 23-Abril-2001 y 10-October-2001 (esta última fue después del fuego ocurrido en agosto de 2001) para la Zona 1 (nuestras 12 parcelas). Para la Zona 2 (la no quemada en 1993, pero quemada en 2001, 4 parcelas) sólo se tomaron muestras de hojas el 10-October de 2001 (3 meses después del incendio). La muestra de hojas seleccionada en pinos consistió en 10 g de hojas de cada uno de los 6-8 pies dominantes (ver LÓPEZ-SERRANO et al., 2005) y para la encina la muestra consistió en 10 submuestras de 5 g por parcela. En ambas especies todas las hojas se mezclaron para disponer de una sola muestra por parcela.

Análisis estadísticos: El efecto de los clareos y del sitio (solo en pinos) en variables tales como la altura total o el diámetro fue comprobado utilizando variables indicadoras (dummy) mediante análisis de regresión múltiple (NETER et al., 1996), incluyendo el efecto anidado de la parcela dentro del tratamiento. Para comprobar si la concentración foliar de nutrientes podría explicar el crecimiento en diámetro y altura de los pies, se llevó a cabo un análisis de regresión múltiple con las siguientes variables predictoras: concentración foliar media durante el periodo de estudio de todos los nutrientes, el efecto de los clareos (dummy variable) y la interacción entre ambos (concentración de nutrientes y clareo). Un ANOVA multifactor fue usado para comparar las medias entre grupos. El test de Tukey al 95% se usó para comprobar qué medias eran significativamente diferentes entre sí.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos de los clareos en el crecimiento

La Tabla 1 (modelos 1 a 4) muestra los diferentes modelos de regresión para los crecimientos en diámetro y en altura para la encina (tanto absolutos como relativos), en función de la intensidad de resalveo y del efecto anidado de las parcelas dentro de un tratamiento. Los crecimientos absolutos y relativos en altura solo dependían de la intensidad de resalveo (Tabla 1, modelos 3 y 4). Por el contrario, los crecimientos diametrales dependieron de ambos, la intensidad de resalveo y el efecto particular de la parcela (Tabla 1, modelos 1 y 2). Un resalveo de intensidad media (densidad final 5000 chirpiales/ha) fue el mayor tratamiento que mejoró el crecimiento diametral, aunque el resalveo drástico (hasta 1800 chirpiales/ha) también mejoró en relación al control. Por el contrario, este resalveo drástico fue incluso peor que el control en cuanto a crecimiento en altura. Cuando los efectos anidados de las parcelas dentro de los tratamientos fueron sustituidos por variables cuantitativas como cobertura del rebrote (%), C_{resp} o número de chirriares eliminados ($D_{inicial} - D_{final}$), entonces el efecto de las parcelas fue explicado por estas variables. Así, el incremento diametral aumenta cuando C_{resp} incrementa (una vez que el efecto del tratamiento ha sido considerado, Tabla 1, modelo 5). Sin embargo, cuando C_{resp} no es incluido en los modelos, el número de chirpiales eliminados tiene un efecto negativo en el crecimiento una vez que el efecto del tratamiento (resalveo) es incluido (Tabla 1, modelo 6). En general el resalveo mejora el crecimiento pero una vez que es aplicado entonces el efecto de la densidad inicial de la parcela es destacado, de tal manera que cuanto mayor es el número de chirpiales eliminados más pequeño es el crecimiento de los chirpiales que permanecen. Para los crecimientos diametrales relativos (Tabla 1, modelo 7) se obtuvieron resultados similares. Nuestros resultados podrían indicar que la intensidad de resalveo es el parámetro determinante que produce un diferencial efecto dentro de las parcelas sometidas a la misma densidad final de chirpiales, como una consecuencia de la competencia intraespecífica de los mismos. En general, el resalveo mejora el crecimiento en *Quercus ilex*, de igual manera que ya ha sido mostrado por DUCREY & TOTH (1992) and

GRACIA et al. (1997). También, resultados similares fueron encontrados en otras especies de *Quercus* tales como *Quercus arizonica* (DALE & SONDERMAN, 1984) o *Quercus calliprinos* (WEINSTEIN, 1985).

En la Tabla 2 se resumen modelos similares para *Pinus halepensis*, donde los clareos a una densidad final de 1600 pies/ha mejoraron significativamente los crecimientos en diámetro y altura, aunque hubo un efecto de sitio y de parcela (GONZÁLEZ-OCHOA et al., 2004). El crecimiento diferente entre sitios fue una consecuencia de una mayor calidad de estación de Yeste. También en la Tabla 2 se muestra que el efecto anidado de algunas parcelas dentro de un tratamiento podría ser el resultado de la heterogeneidad inicial de aquellas. Así, la densidad inicial en Calasparra y la altura dominante en Yeste, parecen ser las razones de las diferencias en crecimiento entre parcelas sometidas al mismo tratamiento (GONZÁLEZ-OCHOA et al., 2004).

Concentración foliar de nutrientes

La Tabla 3 resume los valores medios de concentración foliar de nutrientes en chirpiales y rebrotes de *Quercus ilex*. Siendo el N uno de los más importantes nutrientes móviles, nuestros resultados muestran que para los chirpiales de *Quercus ilex* la concentración (13 mg/g) fue más baja que para otras especies de *Quercus* (>21 mg/g for *Q. rubra*, *Q. macrocarpa*, *Q. elipsoidalis*, REICH et al., 1995). El ANOVA realizado para evaluar diferencias entre chirpiales y rebrotes antes del nuevo fuego (en Agosto de 2001), mostró que las concentraciones foliares de N, K and Corg no diferían significativamente, pero para P, Mg y Ca los rebrotes tenían una menor concentración que los chirpiales. Comparando solo rebrotes antes y después del nuevo fuego en la Zona 1, todos los nutrientes aumentaron significativamente la concentración después del incendio, excepto el Corg que disminuyó. Estos resultados podrían ser una consecuencia de una diferente disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo debido al nuevo fuego, dando lugar a una diferente capacidad fotosintética (REICH et al., 1995). No obstante, el decrecimiento ocurrió en la concentración de Corg, no en el contenido total de Corg. Finalmente, los rebrotes después del nuevo fuego en la Zona 2, tuvieron unas concentraciones de N, P y K mayores que en la Zona 1. Lo contrario fue cierto para el Mg, Ca y Corg (aunque para los dos últimos no se encontraron diferencias significativas).

Resultados similares se muestran en la Tabla 4 para el *Pinus halepensis*: las concentraciones foliares de N, K y Mg en Calasparra fueron significativamente más altas que en Yeste, pero no se encontraron diferencias significativas entre sitios para el P, Ca y Corg. Las concentraciones foliares de N, P y K en masas naturales post-incendio son similares a los valores óptimos de aquellos nutrientes para otras especies de *Pinus* tales como *P. elliotii*, *P. taeda* y *P. palustris* (MOORHEAD, 1998). Sin embargo, las concentraciones foliares de Ca y Mg (Tabla 4) fueron más altas (0.8-1.2 mg/g para el Ca y 0.4-0.7 mg/g para el Mg, MOORHEAD, 1998). No obstante, las concentraciones de Ca y Mg son similares a las de *Pinus radiata* en Norteamérica: Ca, 7.7 mg/g and Mg, 2.2 mg/g (BLINN AND BUCKNER, 1989).

Comparando ambas especies (Tablas 3 y 4), las concentraciones foliares de todos los nutrientes fueron más altas para *Quercus* que para *Pinus halepensis*, con la excepción del Mg, donde no se encontraron diferencias significativas. También se deduce que la tendencia de la concentración media para ambas especies es como sigue: Corg>N>Ca>K>Mg>P. Este resultado coincide con el de MYRE & CAMIRÉ (1996) para concentraciones foliares en *Larix decidua*. La serie temporal de las concentraciones foliares de N para *Pinus halepensis* (en ambos sitios, Yeste y Calasparra) y para *Quercus ilex* (para ambos, los chirpiales y los rebrotes) se muestran en la Figura 1 (resultados no mostrados para el resto de nutrientes). En general, es el tiempo (días) transcurrido desde los clareos el factor más importante que afecta a los cambios en la concentración foliar de los nutrientes móviles (N, P, K) para ambas especies, aunque los clareos (y resalveos), además del sitio para *Pinus halepensis*, también tiene influencia (datos no mostrados).

En la Tabla 5 se muestran las relaciones lineales existentes entre las concentraciones foliares de chirpiales y rebrotes para las fechas comunes donde ambos coexisten. Estas relaciones significativas podrían indicar si o no hay translocación de nutrientes foliares entre hojas de ambos tipos de regenerado (a nivel de parcela). En caso afirmativo, nosotros planteamos que estas relaciones deberían ser negativas, pero como puede observarse en la Tabla 5, ninguna de ellas cumple esta condición, por lo que podríamos concluir que si existe translocación, esta ocurre entre diferentes partes al nivel de planta (p.e. entre hojas y brotes de madera), pero no entre las hojas de chirpiales y rebrotes. Sin embargo, las diferencias entre las concentraciones foliares de chirpiales y rebrotes, además de por el efecto del clareo, podría ser una consecuencia de la diferente magnitud de la biomasa seca de hojas de chirpiales y de rebrotes (datos no mostrados).

Efecto de la concentración foliar de Nitrogeno en el crecimiento

La Tabla 6 muestra, para ambas especies, los modelos de regresión que relacionan el N (concentración media a lo largo del periodo de estudio) y el ΔN (incremento en la concentración foliar de N desde el principio hasta el final del periodo donde se midió el crecimiento) con los crecimientos en diámetro y altura. Para *Pinus halepensis*, Δh y Δd fueron afectados positivamente por N y ΔN o solo N, respectivamente, aunque el efecto fue dependiente del sitio y del tratamiento de clareo. De forma similar, para *Quercus ilex* ΔN estaba significativamente relacionado con Δd ; sin embargo, para el Δh no hubo un efecto directo de la concentración de N, únicamente con el resalveo (resalveo moderado). Este resultado es coherente con el de WHITE (1984) y DANIEL et al. (1979) donde algunos tratamientos culturales (particularmente clareos, que mejoran el crecimiento y la producción de piñas, GONZÁLEZ-OCHOA et al., 2004) estimulan la movilización del nitrógeno. Otros nutrientes foliares no fueron significativos.

REFERENCIAS

- BLINN, Ch. & BUCKNER, E., 1989. Normal Foliar Nutrient Levels in North American Forest Trees. A Summary. Station Bulletin 590-1989. Minnesota Agricultural Experiment Station. University of Minnesota. St. Paul, Minnesota.
- BREDA, N., GRANIER, A. & AUSSÉNAC, G., 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in oak forest. *Tree Physiol.*: 15, 295-306.
- CANFIELD, R.H. 1941. Application of the line intercept method in sampling range vegetation. *J. Forest.* 39: 388-394.
- DALE, M.E. & SONDERMAN, D.L., 1984. Effect of thinning on growth and potential quality of young white oak crop trees. Northeastern Forest Experiment Station, USDA For. Serv. Res. Pap. NE-539, 11 pp.
- DANIEL, P.W., HELMS, U.E. & BAKER, F.S., 1979. Principles of silviculture. McGraw-Hill, New York.
- DE VRIES, P.G., 1986. Sampling Theory for Forest Inventory. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- DUCREY, M. & TOTH, J., 1992. Effect of cleaning and thinning on height growth and girth increment in holm oak coppices (*Quercus ilex*). *Vegetatio* 99: 365-376.
- ESCUADERO, A., DEL ARCO, J.M. & GARRIDO, M.V., 1992. The efficiency of nitrogen retranslocation from leaf biomass in *Quercus ilex* ecosystems. *Vegetatio* 99: 225-237.

- GONZÁLEZ-OCHOA, A.I., LÓPEZ-SERRANO, F.R., DE LAS HERAS, J., 2004. Does post-fire forest management increase tree growth and cone production in *Pinus halepensis*?, For. Ecol. Manag. 188: 235-247.
- GRACIA, C.; BELLOT, J.; SABATÉ, S.; ALBEZA, E.; DJEMA, A.; LEÓN, B.; LÓPEZ, B.; MARTÍNEZ, J.M.; RUIZ, I. & TELLO, E., 1997. Análisis de la respuesta de *Quercus Ilex* L. a tratamientos de resalveo selectivo. In: Vallejo, R. (Ed.). En la restauración de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana. Fundación CEAM, Valencia, pp 547-601.
- HELMISAARI, H.S., 1992. Nutrient retranslocation within the foliage of *Pinus sylvestris*. Tree Physiol. 10: 45-58.
- LÓPEZ-SERRANO, F.R., DE LAS HERAS, J., GONZÁLEZ-OCHOA, A.I. & GARCÍA-MOROTE, A., 2005. Effects of silvicultural treatments and seasonal patterns on foliar nutrients in young post-fire *Pinus halepensis* forest stands. For. Ecol. Manag. 210, 321-336.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J., FERRANDIS, P., DE LAS HERAS, J., HERRANZ, J.M., 1999. Effects of burnt wood removal on the natural regeneration of *Pinus halepensis* after fire in a pine forest in Tus valley (SE Spain). For. Ecol. Manag. 123: 1-10.
- MOORHEAD, D., 1998. Fertilizing pine plantations. A County agents Guide for making Fertilization Recommendations. Georgia Cooperative Extension Service, College of Agricultural and Environmental Sciences, The University of Georgia, Athens, GA 30602, USA.
- MYRE, R. & CAMIRÉ, C., 1996. The effect of crown position and date of sampling on biomass, nutrient concentrations and contents of needles and shoots in European larch. Trees 10: 339-350.
- NAVEH, Z. & KUTIEL, P., 1975. Changes in the Mediterranean vegetation of Israel in response to human habitation and land use. In: Woodwell, G.M. (Ed.). The earth in transition: patterns and processes of biotic impoverishment. Cambridge University Press, pp. 259-299.
- NE'EMAN, G., LAHAV, H. & IZHAKI, I., 1995. Recovery in a natural east Mediterranean pine forest on Mount Carmel, Israel as affected by management strategies. For. Ecol. Manag. 75: 17-26.
- NETER, J., KUTNER, M.H., NACHTSHEIM, C.J. & WASSERMAN, W., 1996. Applied linear statistical models. 4th ed. Irwin. Chicago, USA.
- ORGEAS, J., OURCIVAL, J.M. & BONIN, G., 2002. Seasonal and spatial patterns of foliar nutrients in cork oak (*Quercus suber* L.) growing on siliceous soils in Provence (France). Plant Ecol. 164: 201-211.
- REICH, P.B., KLOEPPPEL, B.D., ELLSWORTH, D.S. & WALTERS, M.B., 1995. Different photosynthesis-nitrogen relations in deciduous hardwood and evergreen coniferous tree species. Oecologia 104: 24-30.
- RETANA, J., ESPELTA, J.M., GRACIA, M., RIBA, M., 1999. SEEDLING RECRUITMENT. IN: RODÁ, F., RETANA, J., GRACIA, C. & BELLOT, J. (Eds.). Ecology of Mediterranean evergreen oak forest. Springer, pp. 89-101.
- SERRADA, R., 1996. Spacing and thinning regime in coppice system and conversion area. Improvement of coppice forests in the Mediterranean region (MEDCOP). Consolidated progress report. Commission of the European communities.
- SERRADA, R., ALLUE, M. & SAN MIGUEL, A., 1994. The coppice system in Spain. Current situation, state of art and major areas to be investigated. Annale Dell'istituto sperimentale per la selvicoltura, 23: 266-275.
- STEFAN, K., RAITIO, H., BARTELS, U., FÜRST, A., 2000. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Part IV. Sampling and Analysis of Needles and Leaves. UN/ECE, Austrian Federal Forest Research Centre, Vienna.
- TRABAUD, L., 1987. Fire and survival traits in plants In: Trabaud, L. (Ed.), The Role of fire in Ecological Systems. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, pp. 65-91.
- TRABAUD, L., MICHELS, C. & GROSSMAN, J., 1985. The recovery of burned *Pinus halepensis* Mill. forests. II Pine reconstitution after wild-fire. For. Ecol. Manag. 13: 167-179.
- WEINSTEIN, A., 1985. Effect of silvicultural treatment on development of Mediterranean oak scrub of *Quercus calliprinos* on Mt. Carmel. Rotem, Bull. Isr. Plant Information Center 18: 79-92. (in Hebrew, English summary).
- WHITE, T.C.R., 1984. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. Oecologia 63, 90-105.

TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1: Modelos de regresión del crecimiento absoluto y relativo en diámetro (Δd , mm, $(\Delta d/d)$ y en altura (Δh , cm, $\Delta h/h$) para *Quercus ilex*. Todos los coeficientes mostrados son significativos ($p < 0.05$), $n=360$.

| | | R ² (%) | SEE | DW ^S |
|-----|---|--------------------|------|-----------------|
| (1) | $\Delta d = 2.36 + 1.34 T_m (P = 5) + 1.11 T_d (P = 8)$ | 9.08 | 1.71 | 2.01 |
| (2) | $\frac{\Delta d}{d} = 0.34 - 0.011 d + 0.101 T_m (P = 5) + 0.132 T_d (P = 8)$ | 23.03 | 0.14 | 2.09 |
| (3) | $\Delta h = 3.92 + 0.74 T_m - 0.84 T_d$ | 5.18 | 2.73 | 1.95 |
| (4) | $\frac{\Delta h}{h} = 0.069 - 0.0003 h - 0.0011 T_d$ | 8.23 | 0.03 | 1.88 |
| (5) | $\Delta d = 2.03 + 0.027 C_{resp} - 5.90 T_d + 0.112 T_d C_{resp}$ | 10.59 | 1.53 | 2.05 |
| (6) | $\Delta d = 2.07 + 4.85 T_m + 5.06 T_d - 0.0006 T_m (D_{initial} - D_{final}) - 0.0003 T_m (D_{initial} - D_{final})$ | 13.33 | 1.46 | 2.13 |
| (7) | $\frac{\Delta d}{d} = 0.31 - 0.011 d + 0.007 C_{resp} - 0.005 T_m C_{resp} - 0.00002 T_d (D_{initial} - D_{final})$ | 20.67 | 0.14 | 1.95 |

Δd , Δh : crecimientos periódicos en diámetro (mm) y altura (cm) respectivamente desde Nov-1999 a Feb-2001;

d es el diámetro a 30 cm sobre el suelo en Nov-1999. Las variables predictoras fueron cuantitativas e indicadoras: C: control (no aparece explícitamente en el modelo pero va implícita en la constante), T_m (resalveo intensidad moderada, 5000 trees/ha), T_d (resalveo drástico), P = n° de identificación de parcelas:

parcelas 1, 3, 6, pertenecen al tratamiento C, parcelas 5, 9, 12 pertenecen al T_m y parcelas 2, 8, 11 al tratamiento T_d .

C_{resp} es la cobertura (%) de rebrotes por parcela y $D_{initial}$ y D_{final} son las densidades iniciales y finales de chirpiales, respectivamente en Nov 1999 y Feb 2001.

§ DW: Durbin-Watson statistic (not significant, $p > 0.10$).

Tabla 2: Modelos de regresión del crecimiento absoluto y relativo en diámetro (Δd , mm, ($\Delta d/d$) y en altura (Δh , cm, $\Delta h/h$) para *Pinus halepensis* en ambos sitios (Yeste y Calasparra). Todos los coeficientes mostrados son significativos ($p < 0.05$), $n=360$.

| | | R ² (%) | SEE | DW [§] |
|-----|--|--------------------|------|-----------------|
| (1) | $\Delta d = 6.82 - 4.41C + 2.34T_i + 4.07T_i(P=9) - 2.16T_c(P=27)$ | 39.1 | 3.6 | 1.92 |
| (2) | $\frac{\Delta d}{d} = 0.28 + 0.31T_i - 0.27T_i(P=2) - 0.25T_i(P=9) + 0.17T_c(P=1)$ | 22.0 | 0.26 | 1.97 |
| (3) | $\Delta h = 14.8 - 9.8C + 2.7T_i + 6.7T_i(P=2) + 10.9T_i(P=9) + 4.5T_c(P=1)$ | 47.1 | 7.6 | 1.87 |
| (4) | $\frac{\Delta h}{h} = 0.13 - 0.05C + 0.08T_i - 0.06CT_i - 0.05T_i(P=9) + 0.07T_c(P=1)$ | 25.0 | 0.08 | 1.81 |
| (5) | $\Delta d = 6.48 - 4.02C + 0.025T_iH_d$ | 36.0 | 3.7 | 1.83 |
| (6) | $\frac{\Delta d}{d} = 0.29 + 1.17T_i + 3.1 \times 10^{-6} N_{99}$ | 17.9 | 0.25 | 1.79 |
| (7) | $\Delta h = 15.81 - 11.01C + 0.04T_iH_d$ | 45.6 | 6.83 | 1.86 |
| (8) | $\frac{\Delta h}{h} = 0.30 - 0.14C - 0.001H_d + 3.4 \times 10^{-4} T_iH_d$ | 28.5 | 0.07 | 1.89 |

Δd , Δh : crecimientos periódicos en diámetro (mm) y altura (cm) respectivamente desde Nov-1999 a Feb-2001;

d es el diámetro a 30 cm sobre el suelo en Nov-1999. Las variables predictoras fueron cuantitativas e indicadoras

C: Calasparra site. T_i : clareo a una densidad final de 1600 pies/ha. N_{99} es la densidad de pies al principio del estudio (1999). H_d : altura dominante..

P = n° de identificación de parcelas: Yeste, parcelas 1 a 24; Calasparra, parcelas 25 a 45 (ver González-Ochoa et al. 2004, para más detalles).

§ DW: Durbin-Watson statistic (not significant, $p > 0.10$)

Tabla 3: Concentración foliar de nutrientes (mg/g, excepto para Corg que está en %, mean ± standard error) de chirpiales y rebrotes de *Quercus ilex* en diferentes zonas y fechas. n=tamaño de la muestra.

| | Chirpiales | Rebrotes | | |
|------------------|---|---|--|-------------------------|
| | ZONA 1 (n=59) Before new fire (Nov99-Apr01) | ZONA 1 (n=48) Before new fire (Jul00-Apr01) | ZONA 1 (n=11) After new fire (Oct01) | ZONA 2 (n=4) |
| N | 13.30±0.25 ^a | 13.03±0.18 ^a | 14.93±0.38 ^b | 17.08±0.85 ^c |
| P | 0.88±0.02 ^a | 0.75±0.02 ^b | 1.01±0.05 ^c | 1.13±0.06 ^c |
| K | 4.10±0.15 ^a | 4.24±0.18 ^a | 5.07±0.32 ^b | 6.93±0.37 ^c |
| Ca | 9.42±0.34 ^a | 8.35±0.36 ^b | 2.24±0.51 ^c | 8.83±0.85 ^b |
| Mg | 1.39±0.06 ^a | 1.17±0.05 ^b | 2.07±0.12 ^c | 1.75±0.19 ^c |
| C _{org} | 38.9±1.1 ^a | 37.2±0.9 ^a | 22.5±0.8 ^b | 22.1±1.4 ^b |

ZONA 1: our 12 plots burned in 1993 (Before new fire –August 01-, data from Nov-99 to Apr-01 for young trees and from Jul-00 to Apr-01 for resprouts).

ZONA 1 after new fire of August 01 data only for Oct-01.

ZONA 2: 4 new plots located near out 12 plots and not burned in 1993. Data only for Oct-01.

Equals letters by row means that not significant differences exist at 95% (Tukey test)

Tabla 4: Concentración foliar de nutrientes (mg/g, excepto para Corg que está en %, mean \pm standard error) de brinzales de *Pinus halepensis* en dos diferentes sitios (utilizando todas las fechas) n=tamaño de la muestra.

| | Yeste (n=80) | Calasparra (n=54) |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | (Jul99-Oct01) | (Aug99-Nov01) |
| N | 9.91 \pm 0.21 ^a | 11.68 \pm 0.37 ^b |
| P | 0.73 \pm 0.02 ^a | 0.75 \pm 0.03 ^a |
| K | 2.95 \pm 0.15 ^a | 4.02 \pm 0.18 ^b |
| Ca | 6.85 \pm 0.19 ^a | 7.22 \pm 0.21 ^a |
| Mg | 2.75 \pm 0.09 ^a | 1.84 \pm 0.07 ^b |
| C _{org} | 39.6 \pm 1.1 ^a | 40.1 \pm 1.4 ^a |

Letras iguales por fila indica que no existen diferencias significativas al 95% (Tukey test)

Tabla 5: Relaciones lineales entre la concentración foliar media de chirpiales (\bar{C}) y la de rebrotes (\bar{C}_{resp}) incluyendo el efecto del resalveo y la interacción entre resalveo y concentración foliar de rebrotes, a lo largo de las cuatro fechas comunes en las que ambos tipos de plantas coexisten. Todos los modelos fueron significativos ($p < 0.001$); $n=36$.

| Relationship | R ² | SEE |
|---|----------------|------|
| $N_t = 1.24 + 0.23T_d + 0.14T_f N_{resp}$ | 37 | 0.14 |
| $P_t = 0.08 + 0.018T_m$ | 26 | 0.01 |
| $K_t = 0.20 + 0.51K_{resp}$ | 38 | 0.08 |
| $Mg_t = 0.07 + 0.50Mg_{resp}$ | 21 | 0.04 |
| $Ca_t = 0.24 + 0.72Ca_{resp} + 0.21T_d$ | 48 | 0.20 |
| $Corg_t = 0.31^* + 1.00Corg_{resp}$ | 64 | 4.65 |

* Coefficient not significant ($p=0.95$)

Tabla 6. Modelos de regresión para el incremento medio en diámetro ($\Delta d^{\dagger\dagger}$, mm) y la altura ($\Delta h^{\dagger\dagger}$, cm) por parcela, para ambas especies, *Pinus halepensis* and *Quercus ilex*.

| MODELS | R ² (%) | SEE | DW | n | |
|-------------------------|---|-----|-----|------|----|
| <i>Pinus halepensis</i> | $\Delta d = -1.3 + 8.76 N - 7.48 (S=C)N + 3.28\Delta N + 6.24 \Delta N (T=T_f)$ | 79 | 1.4 | 1.75 | 15 |
| | $\Delta h = 16.9 + 5.1(T=T_f)N - 11.8 (S=C)N$ | 83 | 2.9 | 1.5 | 15 |
| <i>Quercus ilex</i> | $\Delta h = 4.60 + 1.90 (T=T_m)$ | 64 | 0.8 | 2.8 | 9 |
| | $\Delta d = 2.29 + 2.89 \Delta N$ | 38 | 0.5 | 2.0 | 9 |

^a Predictive variables were: average foliar concentration of nitrogen by plot during the study period (N, %, from Jul-99 to Jul 01 for *P. halepensis*, and from Nov-99 to Feb-01 for *Quercus ilex*), increment in nitrogen concentration during the period (ΔN , %) and the dummy variable treatment (T, acronyms as Table 10). All models were significant ($p < 0.001$).

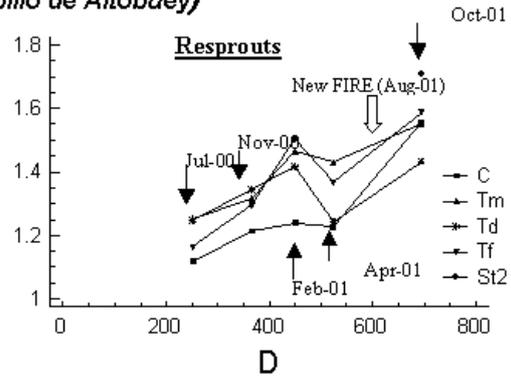
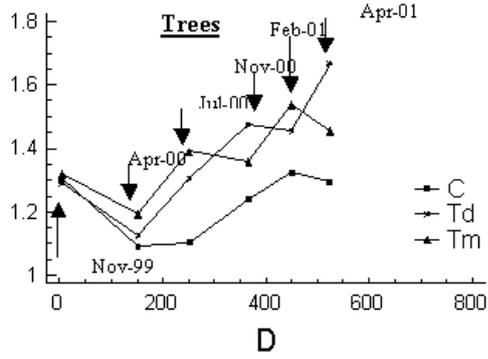
[†] Durwin Watson statistic: the order was the treatments

^{††} For more details, see González-Ochoa et al., 2004 (for *Pinus halepensis*) and Lopez et al. (2005, en revisión) for *Quercus ilex*.

FIGURA 1: Evolución temporal de la concentración foliar de N (%) para los tres sitios de estudio (Campillo de Altobuey, Yeste y Calasparra), para las dos especies (*Quercus ilex* –chirpiales y rebrotes- y *Pinus halepensis*) y para diferentes intensidades de clareo. Para *Quercus*, los tratamientos fueron: C: control, T_m (resalveo moderado, 5000 trees/ha), T_d (resalveo drástico, 1800 trees/ha), T_f (corta total, 0 trees/ha) y St2 (Zona 2, no quemada en 1993). Para *Pinus*, C: control y T_t (clareo a 1600 trees/ha). Para cada sitio, especie, tratamiento y fecha de análisis (D, días desde que el tratamiento se aplicó), se calculó la media de la concentración de nutriente en tres parcelas por tratamiento (excepto para T_c in Yeste que fueron 7 parcelas y St2 en Campillo que fueron 4).

N(%)

***Quercus ilex* (Campillo de Altobuey)**



Pinus halepensis

N(%)

