

Pautas de distribución de encinas y quejigos en un pinar de la Sierra de Cazorla (Jaén) tras 90 años de ordenación forestal

P.A. Tíscar^{1,*}

(1) Centro de Capacitación y Experimentación Forestal, Vadillo-Castril s/nº 23470 Cazorla, Jaén. España.

* Autor de correspondencia: P.A. Tíscar [pedroa.tiscar@juntadeandalucia.es]

> Recibido el 30 de enero de 2014, aceptado el 14 de mayo de 2014.

Tíscar, P.A. 2014. Pautas de distribución de encinas y quejigos en un pinar de la Sierra de Cazorla (Jaén) tras 90 años de ordenación forestal. *Ecosistemas* 23(2): 116-123. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.15.

Los sucesivos inventarios forestales de los montes con ordenaciones históricas constituyen una interesantísima fuente de información para investigar la evolución de la vegetación y de las interacciones ecológicas en los bosques durante el último siglo. En este estudio, se usaron los datos de inventario de un monte de la Sierra de Cazorla (sureste de España) para determinar cómo los factores ambientales y una historia de aprovechamientos madereros planificados contribuyen a explicar la distribución actual de *Quercus ilex* y *Quercus faginea* en un territorio actualmente dominado por *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*. La evolución, con datos agrupados a nivel de género, del volumen y número de pies de *Quercus ilex* y *Quercus faginea* entre los años 1920 y 2010 se estudió mediante estadística descriptiva y análisis de varianza de medidas repetidas. El efecto de nueve factores abióticos sobre la presencia/ausencia actual de estas especies se analizó mediante modelos lineales generalizados. Los modelos más parsimoniosos mostraron que la presencia de ambas especies disminuye conforme se incrementa la altitud y que, además, *Quercus ilex* es más frecuente en exposiciones de solana. A lo largo de los 90 años de ordenación, las existencias de pino han aumentado proporcionalmente más que las de *Quercus*, probablemente, porque las semillas de pino colonizaron mejor el área de estudio y porque los pinos han sido favorecidos mediante actuaciones selvícolas. Si el objetivo de gestión fuera incrementar la cantidad de *Quercus* en el área de estudio, deberían aplicarse tratamientos selvícolas orientados a este fin.

Palabras clave: factores abióticos, ordenación de montes; *Quercus faginea*; *Quercus ilex*; *Pinus nigra*.

Tíscar, P.A. 2014. Distribution patterns of oaks in a pinewood from Sierra de Cazorla (SE Spain) after 90 years of forest management. *Ecosistemas* 23(2): 116-123. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.15

Data from the successive forest inventories carried out in forests with management plans are valuable to study changes in vegetation and species interactions over the long term. Inventory data from a forest located in southern Spain were used to determine how the history of management and the abiotic environment have contributed to the current distribution of *Quercus ilex* and *Quercus faginea* in an area currently dominated by *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*. Descriptive statistics and repeated measures ANOVA were used to follow the evolution of *Quercus* stands from 1920 to 2010. The effects of nine abiotic factors on the presence/absence of *Quercus ilex* and *Quercus faginea* were analysed by Generalized Linear Models. Best-models showed that both species *Quercus ilex* and *Quercus faginea* become less frequent as altitude increases, and that *Quercus ilex* is more frequent than expected in south-facing slopes. Over 90 years of forest management, pine stocking has increased proportionally more than *Quercus* stocking, probably, because pine seeds are better to colonize open spaces than acorns, and because pinewoods have been favored through silvicultural operations. If the aim of management was to increase *Quercus* populations, a silviculture suitable for that target should be applied.

Key words: Abiotic factors; Forest management; *Quercus faginea*; *Quercus ilex*; *Pinus nigra*.

Introducción

La superficie ocupada por las especies del género *Quercus* en España resulta de la interacción entre los factores ecológicos que determinan su área de distribución natural y la historia de las actividades humanas (Urbieta et al. 2008). Los bosques más extendidos de estas especies se localizan actualmente en el cuadrante suroccidental del país sobre suelos ácidos poco aptos para la agricultura, aunque convertidos en sistemas agroforestales orientados a la producción de ganado (dehesas). Por el contrario, los bosques de *Quercus* que ocuparon las zonas calcáreas de la mitad oriental se roturaron extensivamente tiempo atrás para dedicarlos al cultivo agrícola, porque sus suelos eran más adecuados para este fin (San Miguel 1994). Los remanentes más extensos de estos bosques persisten en zonas de montaña precisamente porque el desarrollo

agrícola ha sido menor ahí. Sin embargo, determinados condicionantes ecológicos de la montaña calcárea mediterránea, tales como la presencia de sustratos dolomíticos, la menor profundidad del suelo y la combinación de sequía estival con fríos invernales rigurosos, tienden a favorecer los pinos en detrimento de los *Quercus* (Blanco et al. 1998; Urbieta et al. 2011). Por tanto, pinos y *Quercus* cohabitan a lo largo de las montañas calcáreas orientales de la península Ibérica (Blanco et al. 1998; Ruiz de la Torre 1979). Junto a estos condicionantes de tipo abiótico, otros factores que pueden afectar la distribución actual de quercíneas en las zonas montañosas son la capacidad de dispersión de las bellotas (Gómez 2003) y la herbivoría que sufren tanto las bellotas (Gómez y Hódar 2008) como los brinzales emergidos (García-González y Cuartas 1989), pues estos factores influyen sobre la posibilidad de establecer poblaciones nuevas en lugares con suelo y clima favorables.

Finalmente, la acción antrópica debe considerarse también como factor concurrente a la hora de determinar la distribución actual de los *Quercus* en la península ibérica. Así por ejemplo, existen evidencias de que las quercíneas esclerófilas se habrían expandido artificialmente a expensas de las quercíneas marcescentes para aprovechar la mejor montanera de las primeras (González-Bernaldez 1981).

El paisaje de amplias zonas de la sierra de Cazorla, una montaña calcárea situada en el sureste de España, está conformado por pinares con intermisiones de rodales más o menos extensos de encinas y quejigos. Los montes de este macizo se han explotado durante siglos y es lógico pensar que la distribución actual de esas especies obedece tanto a los condicionantes abióticos y bióticos mencionados en el párrafo anterior, como a la acción antrópica que incluye la realización centenaria de aprovechamientos madereros. Desde la época de la Reconquista, el aprovechamiento de los montes cazorleños ha estado regulado por ordenanzas medievales, por instrucciones del Ministerio de la Marina y, desde finales del siglo XIX, por proyectos de ordenación de montes redactados conforme a las propuestas de la ciencia y política forestales del momento. Concretamente, los proyectos de ordenación de montes de la sierra de Cazorla se comenzaron a redactar por la Administración forestal a partir del año 1893, porque coincidió la presencia de extensos pinares de salgareño, cuya madera fue muy apreciada para la fabricación de traviesas de ferrocarril, con la titularidad pública del territorio. Los proyectos de ordenación de la sierra de Cazorla fueron de los primeros implementados en España y, por esta razón, entran dentro del conjunto de las denominadas ordenaciones históricas.

La ordenación de montes consiste en la planificación espacio-temporal de las cortas de árboles para asegurar un suministro constante de madera, un recurso que la sociedad demanda y consume. Como primer paso del proceso de ordenación, el territorio forestal se divide en parcelas de límites permanentes llamadas *cantones* que, a continuación, se agrupan en *cuarteles* generalmente de varios centenares de hectáreas. Los cuarteles, a su vez, pueden agruparse en *secciones*. Sobre esta división espacial del territorio se planifica la secuencia temporal de los aprovechamientos, asignando a cada cantón una fecha de realización de cortas y una cuantía de las mismas en base a los resultados de un inventario forestal, que determina el volumen de madera (existencias) y el crecimiento del arbolado. La planificación se realiza para períodos de 10 años, tras los cuales se repite el inventario forestal y se redacta un nuevo programa de aprovechamiento maderero, es decir, la ordenación se revisa. Aunque la serie de revisiones e inventarios forestales suele estar interrumpida en la mayoría de montes debido a limitaciones presupuestarias o cambios en la política forestal y, en todos los casos, al paréntesis provocado por la Guerra Civil, las ordenaciones históricas constituyen una interesantísima fuente de información para investigar la evolución de la vegetación y de las interacciones ecológicas en los bosques españoles a lo largo del siglo XX (Montes et al. 2005; Bravo et al. 2010; Tiscar et al. 2011; Madrigal-González y Zavala 2014).

En este artículo, se usan datos de inventarios forestales sucesivos (i) para describir la distribución actual de *Quercus* en un monte ordenado de la sierra de Cazorla, considerando su historia forestal y diferentes variables fisiográficas y climáticas obtenidas durante la realización de los inventarios, y (ii) para describir la evolución de las poblaciones de *Quercus* presentes en la zona, en términos de densidad (n° pies/ha) y biomasa (m^3 /ha), a lo largo de la ordenación. Debido a las características de la información disponible, el objetivo (i) se estudiará a nivel de especie y el objetivo (ii) a nivel de género.

Material y Métodos

El estudio utilizó datos de inventario del monte Navahondona, que ocupa 16 227 ha entre los 780 y 2108 m.s.n.m. en el corazón de la Sierra de Cazorla, provincia de Jaén, sureste de España (Fig. 1). Se trata de una zona montañosa abrupta con abundantes roquedos ca-

lizados y acusados gradientes edáficos y microclimáticos. Los suelos predominantes son cambisoles cálcicos y regosoles calcáreos, con inclusiones de litosoles y rendsinas (Aguilar et al. 1989). El clima es de tipo mediterráneo con inviernos fríos y húmedos y veranos secos y calurosos. La precipitación media anual es de 1070 mm y la temperatura media anual de 12°C (estación meteorológica "Nava de San Pedro"; 1 290 m.s.n.m.; 37° 53' 00" N, 2° 53' 07" O). La vegetación actual está dominada por bosques de pino salgareño (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*) con inclusiones de pino negral (*Pinus pinaster*), encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) y quejigo (*Quercus faginea*) en rodales puros o mezclados. Esta situación difiere de la vegetación potencial descrita para la zona. En concreto, se ha determinado que Navahondona debería estar ocupado en su mayor parte por encinares y quejigales en una situación climática, quedando la presencia del pinar de salgareño restringida a las zonas rocosas de muy poco suelo (Gómez-Mercado 2011). El aprovechamiento maderero del pinar ha sido la principal actividad económica durante el siglo XX y los tratamientos selvícolas realizados se han orientado hacia ese fin. Entre otros trabajos selvícolas, los documentos de ordenación hablan de la repoblación con pinos autóctonos de 1006 ha de terrenos desarbolados y de la plantación con carácter experimental de 56 ha con la especie alóctona *Pinus nigra* subsp. *nigra* durante la primera mitad del siglo XX.

El monte Navahondona quedó dividido en 239 cantones, 15 cuarteles y 6 secciones al iniciarse su proceso de ordenación en el año 1893, y desde entonces se han realizado siete revisiones con sus respectivos inventarios forestales. El último inventario se realizó en 2 010 según un diseño por muestreo sistemático con una malla cuadrada de lado variable (100-200 m) y parcelas circulares de 15 metros de radio. En cada parcela, se contó por especies el número de árboles con más de 1.30 m de altura y se anotaron los siguientes parámetros: altitud (m.s.n.m.), orientación (Norte: 326°-75°, Sur: 126°-275° y Otra: 76°-125° y 276°-325°), pedregosidad y presencia de afloramientos rocosos (0 %, 1-10 %, 11-40 %, 41-70 % y >70 %), pendiente (<10 %, 10-30 %, 31-50 %, 51-110 % y >110 %) y grado de erosión (6 categorías, ver Fig. 2).

El estudio presente utilizó datos de las secciones 3ª a 6ª del monte, que incluyen 174 cantones y cubren una superficie de 10 406 ha (área de estudio en adelante). Los datos de la 1ª Sección no se usaron, porque esta zona está ocupada por repoblaciones de pino (así el estudio se centró en pinares de origen natural), y la 2ª Sección se descartó, porque estuvo temporalmente segregada del monte y no hay datos de inventario para algunas revisiones. Dos de las revisiones de la ordenación de Navahondona (la cuarta y la quinta) se centraron en el inventario del pinar y no contabilizaron las encinas y quejigos presentes. Consecuentemente, este estudio utiliza datos de 5 inventarios forestales realizados entre los años 1920 y 2010 (Tabla 1).

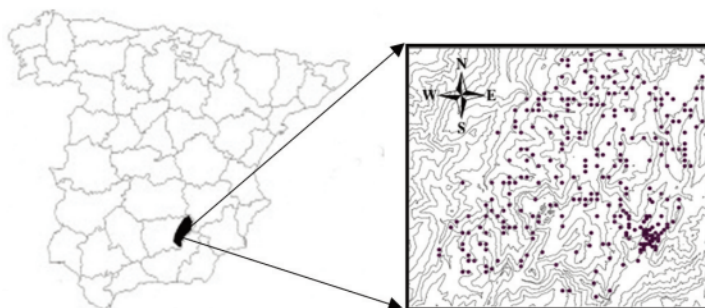


Figura 1. Localización geográfica del monte Navahondona en el Parque Natural de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas (sureste de España) y situación de las parcelas de inventario forestal (puntos) a través de los gradientes de altitud y orientación. Las curvas de nivel están separadas 100 m.s.n.m.

Figure 1. Geographical location of the Navahondona forest within Cazorla, Segura and Las Villas Natural Park (SE Spain) and situation of the inventory plots (dots) across the altitudinal and aspect gradients. Contour lines are separated by 100 m.a.s.l.

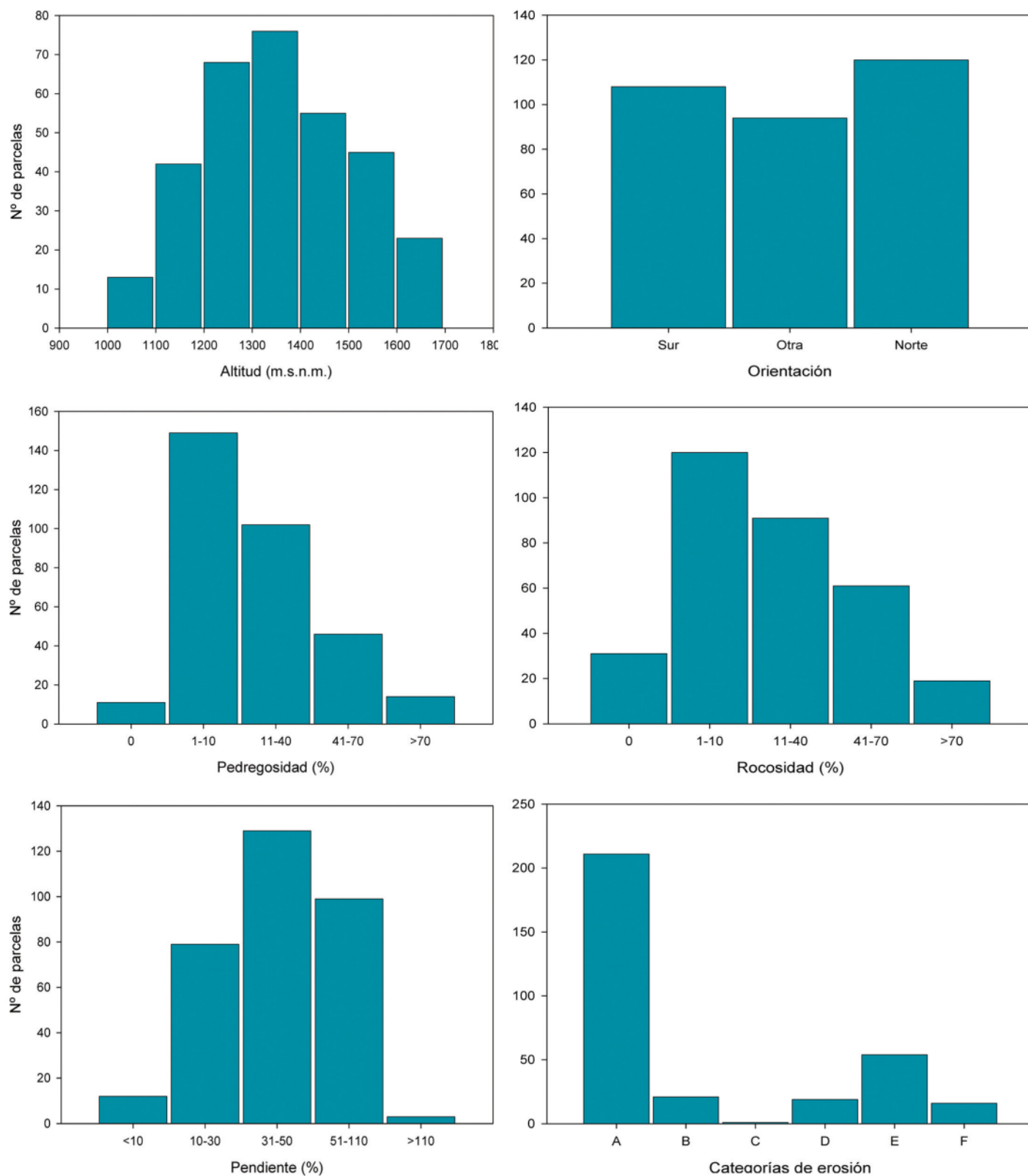


Figura 2. Distribución de frecuencias de diferentes variables fisiográficas en el monte Navahondona. Las categorías de erosión son: (A) sin erosión, (B) cuellos de las raíces de los matorrales descubiertas, (C) regueros de hasta 20 cm de profundidad, (D) barrancos en V, (E) barrancos en U, (F) deslizamiento del terreno.

Figure 2. Frequency distribution of different physiographic variables in the Navahondona forest. The categories of erosion are: (A) no erosion, (B) shrub root collars visible, (C) rills up to 20 cm deep, (D) V-shaped gullies, (E) U-shaped gullies, (F) landslide.

Tabla 1. Evolución de las existencias agrupadas de encina (*Quercus ilex*) y quejigo (*Quercus faginea*) en el monte Navahondona (sierra de Cazorla, Jaén) a lo largo de cinco revisiones de la ordenación del monte. Entre paréntesis se indica el año de realización de cada revisión.

Table 1. Changes in the aggregated stocking of evergreen-oak (*Quercus ilex*) and gull-oak (*Quercus faginea*) in the Navahondona forest (Cazorla mountain range, SE Spain) over five revisions of the management plan. The year when the forest inventory was carried out is indicated in brackets.

Sección	Primera Revisión (1920)		Segunda Revisión (1944)		Tercera Revisión (1959)		Sexta Revisión (1996)		Séptima Revisión (2010)	
	Nº pies	Volumen (m ³)	Nº pies	Volumen (m ³)	Nº pies	Volumen (m ³)	Nº pies	Volumen (m ³)	Nº pies	Volumen (m ³)
3ª	0	0	4450	2574.53	4208	1995.60	78656	5749.73	182090	10256.82
4ª	12944	7637.09	3276	2462.39	4708	2795.07	63964	6049.43	171747	13521.41
5ª	1884	1068.64	4089	2281.28	3217	2014.51	13677	1464.11	38809	8519.3
6ª	7396	3781.95	3526	978.59	2782	792.31	22630	2236.95	86747	6164.89
Total	22224	12487.68	15341	8296.79	14915	7597.49	178927	15500.22	479393	38462.42
Volumen medio	0.562 m ³ / árbol		0.541 m ³ / árbol		0.509 m ³ / árbol		0.087 m ³ / árbol		0.080 m ³ / árbol	
Cantones con <i>Quercus</i>	31		64		67		70		71	

Para determinar la influencia sobre la distribución actual de encinas y de quejigos en el área de estudio de los diferentes factores abióticos recopilados por el inventario forestal, se utilizaron datos de 322 parcelas seleccionadas al azar de entre todas las incluidas en el inventario forestal correspondiente a la 7ª revisión de la ordenación del monte (el inventario más reciente). Las variables dependientes: presencia o ausencia en la parcela de pies de pino salgareño, encina o quejigo, se ajustaron a sendos Modelos Lineales Generalizados con una distribución binomial del error y logit como función de vínculo. Las variables explicativas incluidas en los modelos fueron: altitud, orientación, pedregosidad, presencia de afloramientos rocosos, pendiente y grado de erosión, junto a tres variables climáticas: precipitación media anual (mm), precipitación media estival (mm), y temperatura media de las mínimas del mes más frío (°C) obtenidas del mapa digital incluido en [Gonzalo \(2010\)](#). También se obtuvieron valores de la temperatura media anual y de la temperatura media de las máximas del mes más cálido para cada parcela, pero estas dos variables se excluyeron sucesivamente de los modelos para evitar problemas de multicolinealidad (se consideró un valor de 0.1 como límite de tolerancia ([Quinn y Keough 2002](#))). El criterio de información de Akaike (AIC) se utilizó para seleccionar los modelos con mejores subconjuntos de covariables explicativas. A este respecto, se consideró que los modelos alternativos con una diferencia de AIC inferior a dos son empíricamente equivalentes ([Burnham y Anderson 2002](#)).

La evolución durante el proceso de ordenación de las poblaciones de quercíneas (con los datos agrupados de encinas y quejigos, pues no existe información separada por especie en todos los inventarios) se analizó, por un lado, observando los resultados de los sucesivos inventarios sección a sección para las variables número de pies y volumen, y, por otro lado, mediante un análisis de varianza con medidas repetidas del área basal de encinas y quejigos (variable dependiente) contabilizada en 90 cantones elegidos al azar. Los cantones se consideraron sujetos en el análisis de varianza, pues sus límites no han cambiado a lo largo de la ordenación, y el factor intra-sujeto fue el inventario forestal con cinco niveles (las cinco revisiones que incluyeron a las quercíneas en el diseño del inventario). Los valores de área basal se expresaron en metros cuadrados por hectárea, es decir, fueron ponderados por la superficie de cada cantón (superficie media \pm desviación estándar = 49.19 ± 20.12 ha; rango = 6.58 – 111.87 ha). En las comparaciones múltiples a posteriori se utilizó el test de Tukey. Otros análisis estadísticos realizados incluyeron el test de Kruskal-Wallis y tablas de contingencia. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Estadística 7.0. A lo largo del texto, los valores son medias \pm desviación estándar.

Resultados

La precipitación media anual en el área de estudio fue de 1225 ± 102 mm (rango: 967 - 1413 mm) y la precipitación media estival de 117 ± 10 mm (rango: 91 - 135 mm), mientras que la temperatura media anual fue de 10.9 ± 0.8 °C (rango: 9.2 - 12.6 °C), la temperatura media de las máximas del mes más cálido fue de 29.7 ± 12 °C (rango: 27.5 - 32.5 °C, mes de julio) y la temperatura media de las mínimas del mes más frío fue de -1 ± 0.6 °C (rango: -3.1 a 1 °C, mes de enero). Las demás variables consideradas en el estudio presentaron las distribuciones de frecuencias que se observan en la [Figura 2](#).

La presencia actual de pino salgareño se contabilizó en 274 parcelas, la de encina en 185 y la de quejigo en 75 del total de 322 parcelas incluidas en el estudio. Adicionalmente, encinas y quejigos coincidieron en 61 parcelas y se encontraron masas mixtas de pino y quercíneas en 142 parcelas.

La [Tabla 2](#) muestra los tres modelos que, respectivamente, explican mejor la presencia en el área de estudio de pino salgareño, encina y quejigo en función de los nueve factores abióticos considerados. En cada caso, se trata del modelo más parsimonioso de cuantos tendrían un respaldo empírico similar (Δ AIC < 2). Así, el modelo adecuado mínimo que explica la presencia de quejigo en el área de estudio incluyó la altitud como única variable independiente, mientras que la altitud y la orientación se incluyeron como variables independientes en el modelo adecuado mínimo para explicar la presencia de encina. La variable altitud también fue seleccionada en el modelo que explica la presencia de pino salgareño. Concretamente, la probabilidad de encontrar pino salgareño se incrementó con la altitud, mientras que decreció para la encina y el quejigo ([Tabla 2](#)). Así, los pinos salgareños se localizaron a mayor altitud que las encinas y quejigos (test de Kruskal-Wallis, $H_2 = 19.87$, $p < 0.0001$) ([Fig. 3](#)) dentro del área de estudio, cuyo rango altitudinal fue: 973 - 1710 m.s.n.m. Las parcelas con presencia de pino salgareño se localizaron a una altitud de 1359 ± 157 m.s.n.m. (rango: 973 - 1710 m.s.n.m.), las parcelas con presencia de encina a 1309 ± 139 m.s.n.m. (rango: 973 - 1598 m.s.n.m.) y las parcelas con presencia de quejigo a una altitud de 1310 ± 147 m.s.n.m. (rango: 973 - 1628 m.s.n.m.) ([Fig. 3](#)). En cuanto al factor orientación, los resultados indicaron que la exposición de umbría favorece la presencia de pino salgareño y perjudica la de encina ([Tabla 2](#)). Una tabla de contingencia mostró que, efectivamente, las encinas aparecen menos frecuentemente de lo esperado en las laderas orientadas al norte ([Tabla 3](#)). Finalmente, el modelo adecuado mínimo que explica la presencia de pino salgareño también incluyó las variables: pedregosidad, presencia de afloramientos rocosos, precipitación media anual, precipitación media estival y grado de erosión. La presencia de pino salgareño se relacionó negativamente con la existencia de piedras y rocas y positivamente con las precipitaciones, mientras

que los resultados indicaron cierto grado de erosión en los suelos ocupados por esta especie (Tabla 2), probablemente, porque algunos rodales de pinar presentan poca cobertura.

Los datos de los sucesivos inventarios muestran que la presencia de quercíneas (datos de encinas y quejigos agrupados) ha aumentado en el monte Navahondona a lo largo del proceso de ordenación, incrementándose tanto el número de cantones ocupados por encinas o quejigos como las existencias (Tabla 1). Este incremento de existencias en volumen y número de pies podría estar sobrestimado, porque el diámetro mínimo a partir del cual se contabilizaron los árboles fue diferente para los inventarios de la primera y séptima revisión. Concretamente, los diámetros a la altura del pecho (dbh) mínimos para contabilizar los árboles fueron de 20 y 12.5 cm en la primera y séptima revisión, respectivamente. Sin embargo, los libros de la primera revisión de Navahondona describen un territorio forestal con una escasísima presencia de árboles pequeños (dbh < 20 cm) a principios del siglo XX, por lo que, en la práctica, los datos que corresponden a las revisiones primera y séptima en la Tabla 1 serían perfectamente comparables entre sí. Otro tanto se puede comentar sobre los dos tipos de inventario forestal utilizados a lo largo de la ordenación. Los inventarios se realizaron

por enumeración completa de todos los pies (inventarios pie a pie) hasta los años 1970, y por muestreo a partir de esa fecha. Por tanto, los inventarios más recientes presentan una varianza espacial debida al método de muestreo, que teóricamente no existía en los inventarios anteriores. No obstante, la experiencia ha demostrado que los inventarios pie a pie contienen errores de medición de hasta el 15 % (Montes et al. 2005), que es precisamente el error máximo permitido en los modernos inventarios por muestreo; consecuentemente, todos los inventarios serían comparables entre sí.

El incremento de las existencias de quercíneas fue detectado igualmente por el análisis de varianza con medidas repetidas y el test de Tukey realizado a posteriori para la variable respuesta área basal ($F_{4, 336} = 9.37$; $P < 0.0001$; Fig. 4), aunque el volumen del árbol medio disminuyó entre la primera y séptima revisión, pasando de 0.562 m³ a 0.080 m³ (Tabla 1). En términos de área basal (m²/ha), los pinares representan actualmente el 83 % del total, las encinas el 15 % y los quejigos el 2 %. En términos de superficie, los pinares ocupan 8885 ha (6026 de *Pinus nigra*, 1023 de *P. pinaster* y 79 de *P. halepensis*), los encinares 1006 ha y los quejigares 56 ha, existiendo además 1756 ha de rodales mixtos pino-quercínea en el monte Navahondona.

Tabla 2. Modelo adecuado mínimo para explicar la presencia/ausencia de pino salgareño (*Pinus nigra*), encina (*Quercus ilex*) y quejigo (*Quercus faginea*) en el monte Navahondona (sierra de Cazorla, Jaén).

Table 2. Minimal adequate model explaining the presence/absence of Spanish black pine (*Pinus nigra*), evergreen-oak (*Quercus ilex*) and gull-oak (*Quercus faginea*) in the Navahondona forest (Cazorla mountain range, SE Spain).

Variables	<i>Pinus nigra</i> (D ² = 34.4 %)			<i>Quercus ilex</i> (D ² = 2.1 %)			<i>Quercus faginea</i> (D ² = 2.8 %)		
	B	Wald	P	B	Wald	P	B	Wald	P
Constante	- 12.58	17.96	< 0.0001	8.52	25.49	< 0.00001	-	-	-
Altitud	0.0058	11.61	< 0.001	- 0.0063	25.19	< 0.00001	- 0.0029	5.99	< 0.05
Orientación	0.8823	11.52	< 0.001	- 0.5707	12.78	< 0.001	-	-	-
Erosión	0.3482	7.01	< 0.01	-	-	-	-	-	-
Pedregosidad	- 0.4978	4.82	< 0.05	-	-	-	-	-	-
Rocosidad	- 0.7284	12.13	< 0.001	-	-	-	-	-	-
Precipitación anual	0.0203	20.69	< 0.0001	-	-	-	-	-	-
Precipitación estival	0.1686	14.81	< 0.001	-	-	-	-	-	-

Los códigos de la variable orientación son: Sur (1), Otra (2), Norte (3). D² = devianza del modelo.

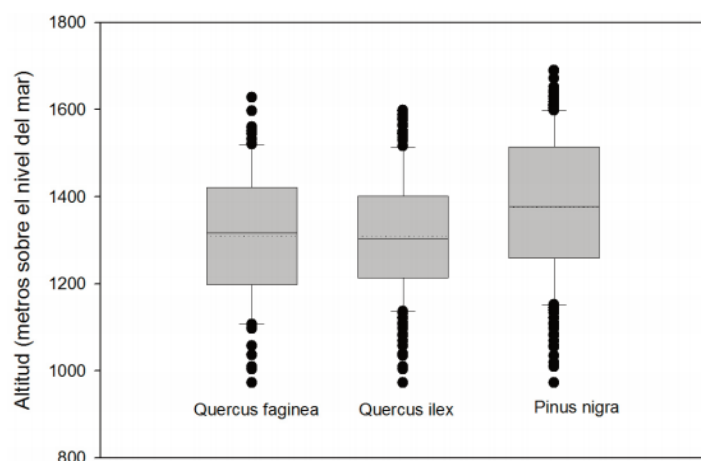


Figura 3. Altitud sobre el nivel del mar de las parcelas de inventario que contienen *Quercus faginea*, *Quercus ilex* o *Pinus nigra*. Se representa la media (línea de puntos), la mediana (línea continua), los percentiles del 5 %, 25 %, 75 % y 95 % y los valores extremos.

Figure 3. Altitude above sea level of the inventory plots containing *Quercus faginea*, *Quercus ilex* or *Pinus nigra*. The mean (dashed line), the median (solid line), the 5th, 25th, 75th and 95th percentiles and the outliers are represented.

Tabla 3. Tabla de contingencia con las frecuencias de las parcelas donde la encina (*Quercus ilex*) está presente o ausente.

Table 3. Contingency table with the frequencies of the plots where evergreen-oaks (*Quercus ilex*) are present or absent.

	Norte		Sur		Otra	
	Obs.	Esp.	Obs.	Esp.	Obs.	Esp.
presente	54	68.94	72	62.05	59	54.01
ausente	66	51.06	36	45.95	35	39.99

$\chi^2 = 12.45$; grados de libertad = 2; n = 322; p < 0.005

Discusión

La evolución de las ordenaciones históricas suele mostrar un incremento de las existencias madereras en los montes, tanto en número de pies como en volumen de madera a lo largo del proceso de ordenación (González et al. 2006). Esta evolución de las existencias era esperable, pues, aun dejando aparte el efecto favorable de la selvicultura aplicada con la ordenación, la puesta en marcha de las ordenaciones ayudó a erradicar las cortas fraudulentas, los incendios provocados, la ganadería incontrolada y otras actuaciones negativas muy extendidas en los montes españoles durante el convulso siglo XIX (Araque 1990). No obstante, estos aumentos en densidad y volumen se han repartido de manera desigual entre las diferentes especies que conforman la masa arbolada de los montes ordenados en las zonas de montaña y, por lo general, los incrementos poblacionales han sido mayores entre las coníferas (García-Abarca 2001; Rojo et al. 2001; Serrano 2001).

La evolución del monte Navahondona coincide con esa generalidad observada en el conjunto de montes con ordenaciones históricas. Así, las masas de pino han aumentado sus existencias en 1 709 329 pies y 547 892 m³ durante el último siglo, a pesar de que los pinares han sido regularmente aprovechados por su madera (Badillo et al. 2012), mientras que el incremento correspondiente a las quercíneas ha sido menor: 457 169 pies y 25 974 m³ (Tabla 1). Los datos existentes no permiten discernir la contribución por separado de encinas y quejigos a ese incremento de existencias. Sin embargo, los documentos de ordenación sólo hablan del aprovechamiento de encinas, sugiriendo una escasa contribución de los quejigos al volumen total de la masa arbolada de Navahondona durante la primera mitad del siglo XX. De manera congruente con esta deducción, los quejigos están menos representados que las encinas y pinos salgareños en la actualidad y, así, sólo aparecieron en 75 de las 322 parcelas de inventario incluidas en el estudio, y sólo contribuyen un 2 % al área basal total de las especies arbóreas presentes en el monte.

Las encinas se aprovecharon entre los años 1920 y 1959 en Navahondona. Estas cortas afectaron por lo general a pies poco vitales (los libros de ordenación contabilizan la corta de 1525 encinas "reviejas" entre las revisiones primera y tercera), pero la densidad y volumen de quercíneas disminuyó durante ese período (Tabla 1). La explotación maderera de las encinas perdió interés en la década de los años 1960 y las quercíneas dejaron de inventariarse, porque no se justificaba el gasto de medir unos árboles que luego no serían objeto de aprovechamiento. Consecuentemente, las revisiones cuarta y quinta obviaron el inventario de quercíneas y se centraron en los pinos exclusivamente.

La supresión de los aprovechamientos de encina, junto con la epidemia de sarna que diezmo la población de cabra montés de la sierra de Cazorla (Herrera 1990), la prohibición del pastoreo con ganado doméstico en el monte Navahondona a partir de la declaración del Parque Natural de Cazorla, Segura y Las Villas y la realización de tratamientos selvícolas favorecedores de las masas de quercíneas (Badillo et al. 2012), podrían justificar el repunte en número de pies, área basal y volumen observado en las poblaciones de *Quercus* a partir de la sexta revisión (Tabla 1, Fig. 4). Las cabras domésticas y monteses incluyen en su dieta una importante cantidad de hojas y tallos de encina, y pueden tener un elevado impacto negativo sobre la dinámica poblacional de esta especie arbórea (García-González y Cuartas 1989). El efecto beneficioso de los tratamientos selvícolas sobre la resiliencia y crecimiento de los montes bajos (masas de *Quercus* constituidas por rebrotes de cepa o raíz) es igualmente conocido (Vericat et al. 2012).

Aunque se ha estimado, según una aproximación fitosociológica, que las series climatófilas de la encina ocuparían aproximadamente un 40 % y las del quejigo un 20 % de la superficie de Navahondona (Valle et al. 2001), diferentes estudios palinológicos han mostrado que la vegetación de la Sierra de Cazorla en una época pre-antrópica, pero con un clima como el actual, estuvo dominada por pinares de *Pinus nigra* y *P. pinaster* entremezclados

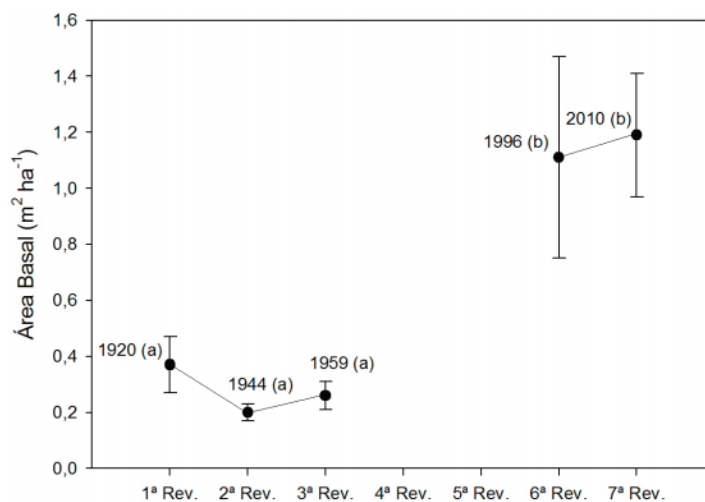


Figura 4. Valores medios y error estándar del área basal de encinas y quejigos a lo largo de las siete revisiones del proyecto de ordenación del monte Navahondona. Las encinas y quejigos no se inventariaron en las revisiones 4ª y 5ª. Se indica el año de realización del inventario de cada revisión. Letras distintas entre los paréntesis indican diferencias estadísticamente significativas (Test de Tukey, $p < 0.05$).

Figure 4. Mean and standard error values of oak basal area over the seven revisions of the Navahondona forest management plan. Oaks were not counted during the 4th and 5th revisions. The year when the forest inventory was carried out is indicated in brackets. Different letters indicate significant differences (Test de Tukey, $p < 0.05$).

con frondosas (Carrión y Diez 2004). No obstante, la proporción de mezcla actual, que en términos de superficie es de 8.5 a 1 en favor de los pinares sobre los encinares y quejigares, está probablemente por debajo del potencial natural que corresponde a las especies de *Quercus* en la zona. Los argumentos en favor de esta opinión son de orden histórico: las encinas han sido largamente sobrexplotadas por los vecinos de la sierra de Cazorla (García 1999, Nieto 2012), y de orden ecológico.

Ciertamente, la altitud es el factor ecológico que mejor explica la distribución de encinas y quejigos en el monte Navahondona y, por tanto, el reparto superficial actual de pinos y quercíneas en el área de estudio, ya que encinas y quejigos retroceden en favor del pino salgareño a medida que la altitud aumenta (Tabla 2). Otros estudios han mostrado que los *Quercus* responden negativamente a los suelos someros y a las temperaturas invernales bajas de las zonas altas (Urbietta et al. 2011). Los resultados de este estudio dan a entender, además, que la encina (especie perennifolia) seleccionaría positivamente las exposiciones de solana (Tabla 3), probablemente porque es más sensible a las temperaturas invernales bajas que el quejigo (especie caducifolia) y/ o porque es más resistente a la sequía estival. Sin embargo, los resultados también muestran que no existen diferencias ambientales entre las parcelas ocupadas y desocupadas por quercíneas dentro del rango altitudinal que las favorece, sugiriendo que la mezcla superficial actual de pinos y quejigos en las zonas de altitud media y baja debería explicarse por otros factores no incluidos en el estudio, como los edáficos o los de tipo biótico. Por otro lado, los factores climáticos podrían tener todavía una incidencia en la distribución de *Quercus* dentro del área de estudio, pues, aunque las variables climáticas no fueron seleccionadas por los modelos estadísticos, existió un salto de escala entre la información de los inventarios (escala de parcela) y el modelo climático utilizado (escala regional).

Puesto que todos los suelos del área de estudio proceden de la misma roca caliza y las encinas y quejigos presentan una amplia tolerancia edáfica (Ruiz de la Torre 1979), podría esperarse una amplia representación superficial de encinares y quejigares en el monte Navahondona (Gómez-Mercado 2011). Sin embargo, la supervivencia y crecimiento de diferentes especies de *Quercus*, y por tanto su capacidad de expansión, se han relacionado directa o indirectamente con factores edáficos, por ejemplo, la profundidad del

suelo (Urbieta et al. 2011) y la disponibilidad de nutrientes (Sardans et al. 2004; Pascual et al. 2012). Las propiedades físico-químicas del suelo podrían variar ampliamente sobre la fisiografía heterogénea del área de estudio (Fig. 2), determinando así la distribución a pequeña escala de las tres especies arbóreas incluidas en la investigación, pero esta información no estuvo disponible en la base de datos de los inventarios forestales utilizados. No obstante, considerando la evolución de las poblaciones de quercíneas en el área, a lo largo del proceso de ordenación (Tabla 1 y Fig. 4), parece más probable que la distribución actual de encinas y quejigos en Navahondona obedezca a factores bióticos (dispersión y depredación) y a la historia forestal reciente.

La dispersión zoócora de las semillas de *Quercus* depende del comportamiento de los arrendajos (*Garrulus glandarius*). Estas aves prefieren localizar sus despensas en lugares más o menos arbolados y rehúyen los espacios abiertos para enterrar las bellotas que recolectan en árboles cercanos (Gómez 2003; Tiscar 2003). Los arrendajos prefieren también las bellotas de encina a las de quejigo, pero, en cualquier caso, actúan como los más importantes, y casi únicos, agentes dispersantes de bellotas a larga distancia (Pons y Pausas 2007). De este modo, los pinos, que son portadores de semillas aladas y ligeras de dispersión anemócora, pudieron colonizar los espacios abiertos y degradados del monte Navahondona más eficientemente que las quercíneas, al iniciarse el proceso de ordenación. Esta mayor aptitud colonizadora de los pinos fue complementada con tratamientos selvícolas que los favorecieron por razones económicas; hasta bien entrados los años 1960 hubo una gran demanda de madera de pino salgareño para fabricar traviesas de ferrocarril (Araque 1990; Nieto 2012). Actualmente, las bellotas son dispersadas por los arrendajos hacia el interior del pinar, y las encinas y quejigos reclutan brinzales (Tabla 1) pese a los elevados índices de depredación que afectan tanto a las propias bellotas (comidas en su mayor parte por jabalíes (Gómez y Hódar 2008)), como a los brinzales (comidos por ungulados domésticos y silvestres (García-González y Cuartas 1989)). Sin embargo, este proceso de sucesión vegetal está probablemente bloqueado en amplias zonas del área de estudio por la elevada densidad de la cubierta del pinar y/o la falta de una selvicultura adecuada para el enriquecimiento del pinar con pies de *Quercus* de porte arbóreo (Gracia et al. 2001).

Conclusiones

La presencia de encinas y quejigos disminuye con la altitud en el monte Navahondona, estando esta repuesta moderada por la orientación en el caso de la encina. Dentro del rango altitudinal que las favorece, la expansión de encinas y quejigos puede estar limitada por la competencia de los pinos, que se establecieron antes durante el proceso de sucesión vegetal que se inició al ponerse en marcha la ordenación del monte. Si el objetivo de gestión fuera incrementar la proporción de encinares y quejigares, se deberían adoptar medidas selvícolas específicas, idealmente incardinadas en los proyectos de ordenación. Estas medidas serían necesarias, porque la recuperación del bosque a lo largo del proceso de ordenación ha afectado de manera desigual a las diferentes especies arbóreas. En primer lugar, porque los pinos colonizaron mejor que las quercíneas los espacios vacíos y, en segundo lugar, precisamente por aplicarse tratamientos selvícolas orientados al beneficio de los pinares.

Los datos contenidos en los sucesivos inventarios forestales de las ordenaciones históricas constituyen una fuente de información adecuada para investigar la evolución de la vegetación en los montes mediterráneos, donde los factores ecológicos interaccionan con las acciones antrópicas desde tiempo inmemorial. La potencialidad de estos datos está aún por aprovechar. Desde un punto de vista metodológico, los análisis de varianza con medidas repetidas utilizando los cantones como unidad muestral parecen adecuados para analizar las ordenaciones históricas, cuando estas presenten datos heterogéneos o incompletos.

Agradecimientos

La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Junta de Andalucía) proporcionó los medios necesarios para realizar la investigación, entre otros, facilitó el acceso a las diferentes revisiones del proyecto de ordenación del monte Navahondona, que no están publicadas.

Referencias

- Aguilar, J., Fernández, J., Sánchez, J.A., de Haro, S., Walkate, J. 1989. *Mapa de suelos de la provincia de Jaén. Escala 1:200.000*. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada, Granada, España.
- Araque, E. 1990. *Los montes públicos en la sierra de Segura*. Siglos XIX y XX. Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Granada, Granada, España.
- Badillo, V., Tortosa, A., Sainz, R., Sotomayor, E.M. 2012. Monte Navahondona, evolución de su ordenación y sus recursos madereros (1884-2010). En: Araque, E., Moya, E. (coord.) *Aprovechamientos madereros en los montes jiennenses (siglos XIII-XX)*. pp. 161-225. Universidad de Jaén. Jaén. España.
- Blanco, E., Casado, M.A., Costa, M., Escribano, R., García, M., Génova, M., et al. 1998. *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Editorial Planeta S.A., Barcelona, España.
- Bravo, F., Osorio, L.F., Pando, V., del Peso, C. 2010. Long-term implications of traditional forest regulation methods applied to Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) forest in central Spain: a century of management plans. *iForest* 3: 33-38.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R. 2002. *Model selection and multimodel inference*. Springer, New York. Estados Unidos.
- Carrión, J.S., Díez, M.J. 2004. Origen y evolución de la vegetación mediterránea en Andalucía a través del registro fósil. En: Herrera, C.M. (coord.) *El monte mediterráneo en Andalucía*. pp. 21-27. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla. España.
- García, M.M. 1999. Unas Ordenanzas de la Sierra de Cazorla (1552). *Miscelánea Medieval Murciana*. Vol. XXII-XXIV, pp. 31-49.
- García-Abarca, J.A. 2001. Estudio de la evolución de la ordenación de monte de U.P. nº 106 "Los Palancares y agregados", provincia de Cuenca. En: Cabrera, M. (coord.) *Actas de la III Reunión sobre Evolución de Ordenaciones Históricas*. pp. 63-72. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Almazán, España.
- García-González R, Cuartas P 1989. A comparison of the diets of the wild goat (*Capra pyrenaica*), domestic goat (*Capra hircus*), mouflon (*Ovis musimon*) and domestic sheep (*Ovis aries*) in Cazorla mountain range. *Acta Biologica Montana* 9: 123-132.
- Gómez, J.M. 2003. Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. *Ecography* 26: 573-584.
- Gómez, J.M., Hódar, J.A. 2008. Wild boars (*Sus scrofa*) affect the recruitment rate and spatial distribution of holm oak (*Quercus ilex*). *Forest Ecology and Management* 256: 1384-1389.
- Gómez-Mercado, F. 2011. Vegetación y flora de la Sierra de Cazorla. *Guineana* 17.
- González-Bernáldez, F. 1981. *Ecología y paisaje*. H. Blume Ediciones, Madrid, España.
- González, J.M., Piqué, M., Vericat, P. 2006. *Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de los espacios forestales*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona, España.
- Gonzalo, J. 2010. *Diagnosis Fitoclimática de la España Peninsular*. CD con Bases de Datos Climáticas y Fitoclimáticas, Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, Madrid, España.
- Gracia, M., Retana, J., Picó, F. X. 2001. Seedling bank dynamics in managed holm oak (*Quercus ilex*) forests. *Annals of Forest Science*, 58: 843-852.
- Herrera, C.M. 1990. Enseñanzas de un iceberg. *Quercus* 50: 17-21.
- Madrigal-González, J., Zavala, M.A. 2014. Competition and tree age modulated last century pine growth responses to high frequency of dry years in a water limited forest ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology* 192: 18-26.
- Montes, F., Sánchez, M., Río M., Cañellas, I. 2005. Using historic management records to characterize the effects of management on the structural diversity of forests. *Forest Ecology and Management* 207: 279-293.

- Nieto, R., 2012. Aprovechamientos forestales y biodiversidad en las sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. En: Araque, E., Moya, E. (coord.) *Aprovechamientos madereros en los montes jiennenses (siglos XIII-XX)*. pp. 227-270. Universidad de Jaén. Jaén. España.
- Pascual, S., Olarieta, J.R., Rodríguez-Ochoa, R. 2012. Development of *Quercus ilex* plantations is related to phosphorus availability on shallow calcareous soils. *New Forests* 43: 805-814.
- Pons, J., Pausas, J.G. 2007. Not only size matters: acorn selection by the European jay (*Garrulus glandarius*). *Acta Oecologica* 31: 353-360.
- Quinn, G.P., Keough, M.J. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.
- Rojo, A., Montero, G., Pérez-Antelo, A. 2001. Cuarenta años de ordenación del monte "Cabeza de Hierro" (Rascafría, Madrid): desarrollo de la ordenación y resultados conseguidos. En: Cabrera, M. (coord.) *Actas de la III Reunión sobre Evolución de Ordenaciones Históricas*. pp. 23-34. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Almazán. España.
- Ruiz de la Torre, J. 1979. *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Sección de Publicaciones, Madrid. España. 512 pp.
- San Miguel, A. 1994. *La dehesa Española. Origen, tipología, características y gestión*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, España.
- Sardans, J., Rodà, F., Peñuelas, J. 2004. Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *rodun-difolia* on different soils. *Plant Ecology* 174: 305-317.
- Serrano, J.L. 2001. Evolución de la ordenación del monte de utilidad pública nº 120 "Sierra de Canales" (1898-2000). En: Cabrera, M. (coord.), *Actas de la III Reunión sobre Evolución de Ordenaciones Históricas*. pp. 171-178. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Elche, España.
- Tiscar, P.A. 2003. El papel de las aves y otros animales en la dispersión del género *Quercus* y arbustos de fruto carnoso en el interior de las repoblaciones de pino. *Montes* 74: 31-35.
- Tiscar, P.A., Lucas-Borja, M.E., Candel, D. 2011. Changes in the structure and composition of two *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* forests over a century of different silvicultural treatments. *Forest Systems* 20: 525-535.
- Urbietta, I. R., Zavala, M. A., Marañón, T. 2008. Human and non-human determinants of forest composition in southern Spain: evidence of shifts towards cork oak dominance as a result of management over the past century. *Journal of Biogeography* 35: 1688-1700.
- Urbietta, I. R., García, L. V., Zavala, M. A., Marañón, T. 2011. Mediterranean pine and oak distribution in southern Spain: Is there a mismatch between regeneration and adult distribution? *Journal of Vegetation Science* 22: 18-31.
- Valle, F., Algarra, J.A., Arroyo, E., Asensi, Q., Cabello, J., Cano, E. et al. 2001. *Mapa de series de vegetación de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.
- Vericat, P., Piqué, M., Serrada, R. 2012. *Gestión adaptativa al cambio global en masas de Quercus mediterráneas*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Solsona, España.