

Dehesas de encinas. Influencia de la meteorología en la producción de bellotas

M.D. Carbonero^{1,*}, P. Fernández-Rebollo²

(1) Área de Producción Agraria. IFAPA. Centro Hinojosa del Duque. Junta de Andalucía. Carretera El Viso, km 15. 14270 Hinojosa del Duque, Córdoba, España.

(2) Departamento de Ingeniería Forestal, ETSIAM. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales 14071 Córdoba, España.

* Autor de correspondencia: M.D. Carbonero [mariad.carbonero@juntadeandalucia.es]

> Recibido el 6 de marzo de 2014, aceptado el 30 de junio de 2014.

Carbonero, M.D., Fernández-Rebollo, P. 2014. Dehesas de encinas. Influencia de la meteorología en la producción de bellotas. *Ecosistemas* 23(2): 55-63. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.08

Las encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) se caracterizan por tener producciones de semillas muy distintas entre años, entre localidades geográficas e incluso entre árboles cercanos. Muchas son las variables que están implicadas en estas diferencias siendo diferente también la escala espacial y temporal a la que trabajan. Algunas de ellas son endógenas al árbol y otras externas a él como es el caso de la meteorología, las plagas y enfermedades, el manejo o el tipo de hábitat. En este trabajo se aborda la influencia de la meteorología sobre la producción de bellotas y el peso de las mismas en una dehesa caracterizada por sus altas producciones. Para ello se estimó la cosecha y peso de la bellota en 50 encinas durante 2001-2006. A lo largo del trabajo se pone de manifiesto la fuerte influencia sobre la producción de semillas de las condiciones acaecidas al inicio de la primavera y del otoño, y de las condiciones del verano y el inicio del otoño para el tamaño de la bellota. Así, una temperatura suave durante el mes de marzo incrementó el número de bellotas y un verano e inicio del otoño menos extremo (con temperaturas máximas más bajas y mínimas más altas afectó de manera positiva al tamaño del fruto. También de importante entidad resultó la respuesta individual y heterogénea del arbolado a las condiciones meteorológicas, en términos de producción de semillas.

Palabras clave: *Quercus ilex*; peso bellota; variabilidad; clima; fenología

Carbonero, M.D., Fernández-Rebollo, P. 2014. Holm oak savannas. Influence of weather on acorn production. *Ecosistemas* 23(2): 55-63. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.08

Acorn production in holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) varies over the years, across areas and even between nearby trees. There are many variables that are involved in these differences, acting in different spatial and temporal levels too. We can identify endogenous and external factors as weather, pests and diseases, management or the habitat. In this work we analyze the influence of meteorology on acorn production and seed weight in an open woodland with high acorn crops. Acorn production was assessed in 50 trees during 2001-2006. The results indicated that weather conditions at early spring and autumn had a marked influence on acorn production. Summer and early autumn affected acorn weight. So mild temperatures during March enhanced acorn crops, and lower temperatures in summer and early fall increased the weight of the acorns. In addition, this study has showed the heterogeneous response of trees to weather in terms of seed production.

Key words: *Quercus ilex*; acorn weight; variability; weather; phenology

Introducción

La dehesa constituye el sistema agrosilvopastoral más característico y representativo de Europa con 2.9 millones de ha en España (Costa et al. 2006). Su origen habría que buscarlo en el aclarado del bosque de *Quercus* por parte del hombre, con el objeto de favorecer la producción de pastos y bellotas, que constituyen los principales recursos alimenticios para el ganado. Su finalidad principal, por tanto, es la producción ganadera, combinándose en una misma explotación diferentes especies ganaderas (es frecuente el uso de ganado vacuno y porcino Ibérico, ganado ovino y porcino Ibérico e incluso la presencia simultánea de las tres especies), y diferentes razas dentro de cada especie. Asimismo, algunas zonas de la dehesa se cultivan con cereales y leguminosas, con rotaciones siempre largas, debido a la escasa fertilidad de los suelos y a que el destino principal de los cultivos, la alimentación del ganado, no justifica el empleo de fertilizantes. La presencia de árboles (principalmente de especies de *Quercus*), arbustos y matorrales en la dehesa

permite la cosecha de leña y corcho y la producción de carbón y picón (Plieninger et al. 2003; Moreno y Pulido 2009). A estas producciones habría que añadir un gran número de externalidades positivas ambientales como una alta biodiversidad, servicios paisajísticos y culturales, capacidad de acumular agua, fijación de CO₂ y disminución del riesgo de incendios (Campos et al. 2013).

La encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) es el árbol más representativo de la dehesa apareciendo como especie prioritaria en el 70.1 % de su superficie (Costa et al. 2006). El hombre ha favorecido la extensión de esta especie a expensas de otras, debido a la importancia de su fruto en la alimentación humana y animal desde la antigüedad. Es por ello que la encina ha sido seleccionada en función de la dulzura y tamaño de sus bellotas y de su productividad (Montero et al. 2000; Fernández y Carbonero 2008; Ezquerro 2011). La producción de bellotas de la encina en la dehesa es mayor que la registrada en bosques (Carbonero et al. 2012; Koenig et al. 2013), y en años de meteorología favorable, la cosecha de bellotas puede llegar a representar el 25 % de la pro-

ducción forrajera de la dehesa (Fernández y Carbonero 2008). Uno de los usos principales de este fruto, aunque no el único, es la alimentación del cerdo Ibérico en la fase final de su ciclo de producción, pues la singularidad y calidad de sus productos constituye el elemento de rentabilidad de muchas fincas (Rodríguez-Estévez et al. 2009; Pulido et al. 2010).

La encina, como árbol frutal en la dehesa, se caracteriza por una producción de bellotas muy variable entre individuos, entre zonas y entre años siendo, a semejanza de otros *Quercus*, una especie altamente vecera y con producciones relativamente asíncronas (Carbonero et al. 2012; Koenig et al. 2013). Son múltiples los factores inherentes y externos al árbol que pueden explicar este comportamiento, algunos de los cuales aún no están suficientemente esclarecidos, a pesar del interés que en el ámbito científico y técnico ha suscitado este árbol y este sistema en los últimos años. Entre los factores externos, la meteorología condiciona la producción de bellotas a corto-medio plazo (Sork et al. 1993; García-Mozo et al. 2007), en la medida que ejerce un control sobre procesos como la floración, la polinización o el cuajado y llenado de frutos, pero también sobre la incidencia de plagas y enfermedades o la disponibilidad de recursos edáficos (Koenig et al. 2013).

Aunque existen trabajos que relacionan la meteorología con la producción de bellotas o con el tamaño de los frutos en la dehesa (López-Carrasco et al. 2004; López-Carrasco et al. 2007; Alejano et al. 2008; Carevic et al. 2010; Díaz et al. 2011), este tema aún ofrece muchas incógnitas, al menos en el ámbito de las dehesas del sur de la Península ibérica dada la variabilidad ambiental y ecológica allí presente. Aún a pesar del indudable interés que puede tener para la estimación de la capacidad de cebo de ganado porcino Ibérico y para la planificación de su aprovechamiento durante la montanera, prever a partir de las condiciones del tiempo en qué sentido puede evolucionar la cosecha de bellotas, podría servir además para predecir la dinámica de las poblaciones de fauna silvestre que dependen de ella y orientar algunas actuaciones para el fomento de la regeneración del arbolado en la dehesa. Así, este trabajo analiza la relación existente entre las condiciones meteorológicas y la producción anual de bellotas de encina, el peso medio de las mismas y la homogeneidad del peso dentro de cada árbol en una dehesa localizada al suroeste de España (Córdoba).

Material y métodos

Área de Estudio

El trabajo fue realizado en una dehesa de la comarca de Los Pedroches en el noreste de la provincia de Córdoba (UTM zona 30: X, 372639; Y, 4237935). El relieve de la finca es llano (pendientes < 5 %), estando situada a una altitud de 780 m y bajo un clima mediterráneo (temperatura media anual de 15.8 °C y precipitación media de 753 mm) caracterizado por largos y cálidos veranos (el periodo de sequía presenta una duración de cuatro meses). La finca se ubica sobre un batolito granítico, por lo que tiene unos suelos silíceos, de carácter ácido (pH entre 5.5 - 6.4), baja fertilidad química, bajos contenidos en materia orgánica (1.7 - 2.9 %) y textura arenoso-franca (arena > 80 %). Según el Mapa de Suelos de Andalucía (CSIC-IARA 1989), los suelos predominantes en la finca son cambisoles eútricos de escasa profundidad y en los que abundan los afloramientos rocosos. La vegetación de la finca está integrada por un estrato arbóreo dominado por encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) bajo el que se extiende el pasto herbáceo compuesto principalmente por especies anuales. El arbolado se distribuye de manera uniforme con una densidad media de 67 árboles por hectárea. La finca se dedica a la cría de vacuno de carne y cerdo Ibérico con cargas ganaderas medias de vacuno de 0.39 UGM/ha y, durante la montanera de 0.64 cerdos/ha.

Diseño del muestreo

Para el estudio se seleccionaron 50 encinas sin daños bióticos y abióticos evidentes y de características morfológicas similares. Los datos dasométricos medios de las encinas seleccionadas fueron (media $\pm$ error estándar) 7.1 $\pm$ 0.8 m (altura), 336.0 $\pm$ 6.7 cm (DBH) y 9.3 $\pm$ 1.8 m (diámetro de copa). La producción de bellotas

de cada año se estimó colocando cuatro contenedores de plástico de sección circular de 40 cm de diámetro colgados de la copa del árbol, por encima de los dos metros de altura, con el fin de evitar que el ganado bovino que pastorea la finca los alcanzase (Carbonero et al. 2002). La bellota caída en los contenedores se recogió quincenalmente en la época de diseminación (octubre a enero) durante seis años consecutivos: 2001 a 2006. Las bellotas recogidas se guardaron en bolsas de plástico y se almacenaron en frío (3 °C). Una vez en laboratorio y por cesto, se procedió al conteo y pesaje en fresco y sin cúpula de las bellotas sanas tras eliminar de manera visual aquellos frutos de tamaño excesivamente pequeño, de peso excesivamente bajo o con signos de afectación por picaduras. Se utilizó una balanza con precisión de centésima de gramo. La producción de bellota (PB) se expresó como peso fresco (en gramos) por metro cuadrado de superficie de copa proyectada sobre el suelo. Se obtuvo sumando la producción quincenal obtenida en los cuatro contenedores de cada árbol y dividiéndola entre el área ocupada por los mismos. Idéntico proceso se siguió para obtener cada año el número de bellotas por metro cuadrado de copa (N). Además, la producción de bellota se expresó también en kg por árbol (PB_i), multiplicando PB por la superficie de copa del árbol proyectada sobre el suelo. Esta se asemeja a un círculo, usando como medida de diámetro el promedio de dos diagonales perpendiculares medidas bajo la copa del árbol. Adicionalmente, cada año se calculó el coeficiente de variación entre árboles para la producción (CV_{PB}) y para el número de bellotas (CV_N). A partir del pesaje de todas las bellotas recogidas en los contenedores, se calculó el valor medio del peso fresco de la bellota (P) y el coeficiente de variación (CV_P) por árbol y año.

Variables climáticas

Los datos meteorológicos corresponden a la estación de Villanueva de Córdoba, que cuenta con registros diarios y que está próxima a la finca (altitud, 725 m; UTM, zona 30: X, 357786; Y, 4242744) (Fig. 1). Las variables consideradas fueron: las temperaturas mensuales (la temperatura media, la temperatura media de las mínimas y de las máximas, y las temperaturas máximas y mínimas absolutas), la precipitación anual y mensual, la precipitación registrada en cada estación del año y la precipitación acumulada mensualmente.

Análisis de datos

Previamente a cualquier análisis se comprobó la normalidad de los datos mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Cuando no se cumplieron los criterios de normalidad se realizaron transformaciones logarítmicas (N) o mediante raíz cuadrada (CV_P). El grado de colinealidad entre las variables meteorológicas se analizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson, seleccionándose, de entre las que presentaban colinealidad ($r > 0.50$) (Fearer et al. 2008), aquellas con mayor implicación en los procesos biológicos de la reproducción de la encina. Posteriormente se estudió mediante el coeficiente de correlación de Pearson la relación entre las variables meteorológicas seleccionadas y el comportamiento productivo de la población, considerándose el valor medio de N, P, CV_N y CV_P de las cincuenta encinas. Para el caso de N y P, variables que determinan la producción del árbol, se ha analizado si los efectos de la meteorología sobre la producción de bellota a nivel de población son similares a los efectos sobre la producción de cada individuo, es decir, si todos los individuos presentan un comportamiento similar ante un cambio en las condiciones meteorológicas. Para ello se han comparado, para cada variable meteorológica seleccionada, dos modelos de regresión mixtos en los que se ha incluido el árbol como un factor aleatorio, considerando en uno la pendiente constante (respuesta similar en todos los árboles) y en el otro variable (respuesta diferente de los árboles). En ambos modelos la constante ha sido siempre aleatoria debido al distinto potencial productivo de las encinas muestreadas. Estos dos modelos se han comparado utilizando criterios de información (AIC y BIC) y mediante un test de hipótesis utilizando cambios en la devianza (likelihood ratio test). Este mismo proceso se ha realizado para la variable CV_P. Los programas estadísticos utilizados fueron STATISTICA 8.0 y R versión 3.1.0.

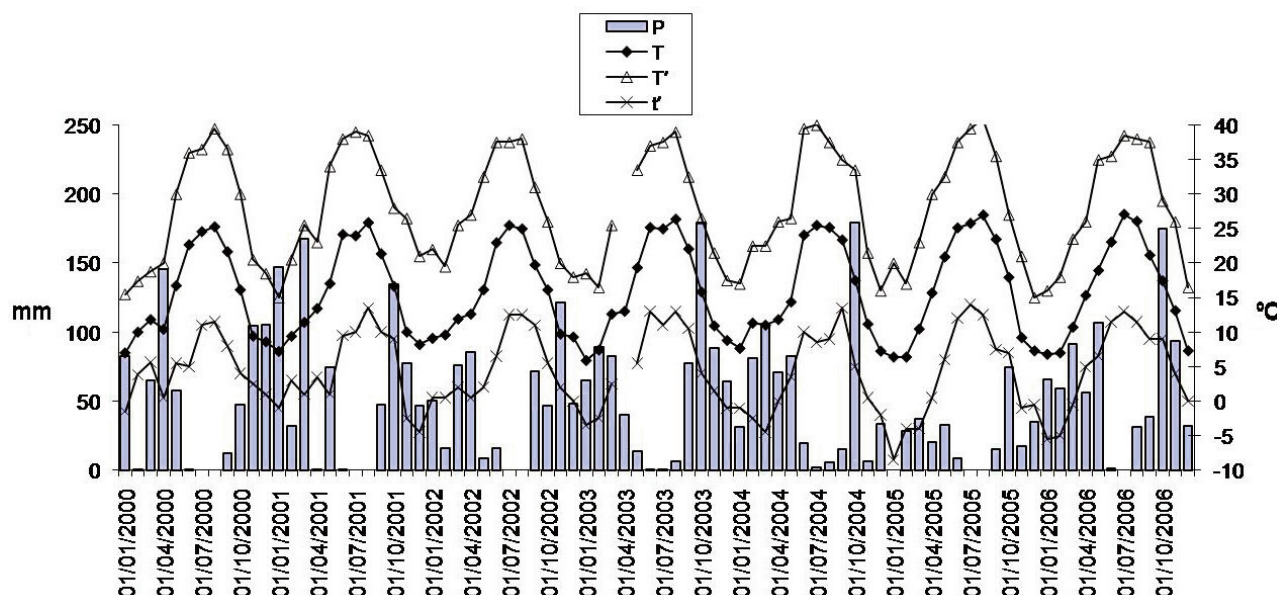


Figura 1. Temperatura media mensual (T), temperatura máxima (T') y mínima (t') absoluta mensual y precipitación mensual registrada en la estación meteorológica de Villanueva de Córdoba de Enero del año 2000 a Diciembre del 2006.

Figure 1. Mean monthly temperature (T), absolute maximum monthly temperature (T'), absolute minimum monthly temperature (t'), and monthly precipitation at Villanueva de Cordoba station from January (year 2000) to December (year 2006)

Resultados

La producción de bellotas osciló de los 84 g m⁻² y 5.6 kg por árbol en 2005, a los 407 g m⁻² y 27.0 kg por árbol en 2003 (**Tabla 1**). El número de bellotas fue también máximo en 2003 con 143 bellotas por m⁻² y mínimo en 2004 con 40 bellotas por m⁻². El valor medio del coeficiente de variación de la producción de bellota (CV_{PB}) entre árboles para el periodo analizado fue de 98.3 %, mientras que la media del coeficiente de variación de la producción entre años fue de 83.2 %. Los años con menores variaciones entre árboles para la producción de bellotas (CV_{PB}) fueron el 2003 (año de mayores producciones de bellota) y el año 2005 (año de menores producciones). Las bellotas de mayor peso medio se recogieron en 2006 (6.02 g) y las más pequeñas en 2005, con 1.96 g, año en el que el valor medio del coeficiente de variación del peso entre árboles fue el mayor del periodo analizado (CV_P= 22.4 %). Sin embargo en el 2003, año en el que la producción fue máxima, la variabilidad del peso de la bellota dentro del árbol alcanzó el valor medio más bajo (CV_P= 17.4 %). El coeficiente de variación del peso entre años fue del 41%, menor que el encontrado para la producción y el número de bellotas.

La producción de bellota mostró una correlación significativa con un buen número de variables meteorológicas (**Tabla 2**). Habría que destacar, en primer lugar, la influencia de las condiciones del invierno previo a la floración. Así, una temperatura máxima elevada en enero guardó una relación negativa con la producción de bellota (N). Durante el mes de marzo se detectó una relación positiva de la temperatura media y la temperatura máxima absoluta, con esta variable. Las temperaturas alcanzadas durante el verano parecieron tener escaso efecto en la determinación de la cosecha de bellota. Tan sólo la temperatura media de las mínimas del mes de junio se relacionó de manera positiva con N. Durante el otoño, coincidiendo con el periodo de maduración del fruto, la producción de bellota estuvo relacionada negativamente con la temperatura media del mes de octubre. Además, la precipitación durante el mes de septiembre afectó positivamente a la producción de bellota. En cuanto a las variaciones entre árboles de la producción, unas mayores precipitaciones y unas menores temperaturas durante el verano, y unas mayores temperaturas máximas durante el mes de noviembre tendieron a aumentarlas (**Tabla 3**).

Para la variable número de bellotas (**Tabla 4**), se encontró que la temperatura media de marzo y la temperatura media de las má-

ximas del mes de enero afectó a la producción de bellota de manera similar en todos los árboles, pues el mejor modelo ha resultado el de pendiente fija. La varianza explicada por el factor árbol ha sido del 29.0 % en el primer caso y del 23.7 % para el segundo. También la temperatura media de las mínimas de junio afectó a la producción de bellota, aunque en este caso de manera diferente a cada árbol pues el mejor modelo ha resultado el de pendiente aleatoria.

El peso de la bellota fue mayor cuando la precipitación acumulada en los meses de primavera también lo fue (**Tabla 2**). En cambio mayores temperaturas medias de junio y agosto y mayores máximas absolutas de agosto tuvieron su reflejo en un menor peso del fruto. Las condiciones meteorológicas del otoño cuando se produce la maduración y caída de la bellota, definieron las características finales del fruto. De hecho el mes de septiembre fue también uno de los meses determinantes en la morfología del fruto, en el que una temperatura media de las máximas alta influyó negativamente en el tamaño de la bellota mientras que una temperatura media de las mínimas alta repercutió positivamente en el tamaño. Para el tramo final del otoño, se encontró que mayores valores de la temperatura media de las mínimas de noviembre repercutieron positivamente en el peso. La mayor correlación se detectó con la temperatura máxima absoluta del mes de agosto. La temperatura afectó al peso de la bellota de manera similar en todos los árboles. Así, el modelo con pendiente constante ha resultado el mejor en todos los casos (**Tabla 5**). La varianza del peso de la bellota explicada por el factor árbol ha sido del 31.6 %, del 34.7 % y del 34.4 % para la temperatura media de junio, la temperatura máxima absoluta del mes de agosto y la temperatura media de las mínimas del mes de noviembre, respectivamente.

Los valores medios del coeficiente de variación del peso de la bellota dentro del árbol también guardaron relación con la meteorología del año en curso (**Tabla 3**). Así, unas mayores precipitaciones en septiembre y noviembre tendieron a disminuirlo. En cambio, unas mayores temperaturas máximas absolutas en julio y unas mayores temperaturas medias y medias de las máximas del mes de octubre aumentaron este coeficiente. Sin embargo, el modelo mixto no consideró significativa la relación de esta variable con ningún factor meteorológico. El mejor modelo resultó aquel que incluyó únicamente un término independiente aleatorio.

Tabla 1. Producción media de bellota en kg por árbol (PB_i) y en g de sustancia fresca por m^2 de proyección de copa (PB), número medio de bellotas por m^2 de copa (N), peso fresco medio de la bellota (P) en g, coeficiente de variación de la producción de bellota (CV_{PB}) y del número de bellotas por m^2 de copa (CV_N) entre árboles, y valor medio del coeficiente de variación del peso de la bellota en el árbol (CV_P) para cada año del periodo de estudio 2001-2006. Los datos entre paréntesis hacen referencia al error estándar.

Table 1. Average fresh matter weight per tree (PB_i : kg, PB : g m^{-2} of crown), number of acorns per m^2 of crown (N), acorn fresh weight (P , g), coefficients of variation in acorn production (CV_{PB}) and number of acorns (CV_N) among trees, and coefficient of variation in fresh acorn weight within a tree (CV_P) each year during 2001-2006. Standard Errors are showed in brackets

Variables	Años					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
PB_i (kg)	26.3 (3.7)	21.6 (3.8)	27.0 (3.2)	11.4 (2.3)	5.6 (0.8)	10.1 (2.0)
PB (g m^{-2})	387 (48)	316 (46)	407 (46)	166 (30)	84 (10)	149 (26)
N (nº bellotas m^{-2})	97 (14)	67 (10)	143 (20)	40 (8)	45 (6)	27 (6)
P (g)	4.86 (0.23)	5.41 (0.24)	3.62 (0.18)	5.03 (0.27)	1.96 (0.13)	6.02 (0.28)
CV_{PB} (%)	84.7	100.5	77.1	126.5	80.2	121.0
CV_N (%)	101.3	100.2	98.9	144.5	91.9	147.3
CV_P (%)	19.2 (1.1)	19.0 (1.4)	17.4 (1.2)	22.3 (2.0)	22.4 (2.6)	19.6 (3.4)

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre el número de bellotas por m^2 de proyección de copa (N), y el peso fresco de la bellota (P) en g con distintas variables meteorológicas. Para el peso de la bellota sólo se consideran las temperaturas acaecidas en verano y otoño (periodo de cuajado, desarrollo y maduración de la bellota) y también las precipitaciones de primavera. Los datos fueron recogidos entre 2001-2006. Las variables sin subrayar son las más correlacionadas con la producción de bellota y se subrayan aquellas que presentaron alta colinealidad ($r > 0.50$). Sólo se muestran las relaciones para los siguientes niveles de significación: *** = $p < 0.01$; ** = $p < 0.05$; * = $p < 0.1$.

Table 2. Pearson correlation coefficients (r) of number of acorns per m^2 of crown (N) and acorn fresh weight (P , g) vs. weather parameters. For fresh acorn weight we only analyzed relationships with spring precipitation and temperatures of summer and autumn (growth and ripening fruit stages). Data were collected during 2001-2006. Largest correlations were showed through non-underlined numbers and related weather parameters that exhibited high collinearity ($r > 0.50$) were underlined. Significance was indicated as: *** = $p < 0.01$; ** = $p < 0.05$; * = $p < 0.1$.

Estación	Variable	Mes	N	P
Invierno previo a la diseminación de la bellota	Temperatura media de las máximas	Enero	-0.74*	
Primavera	Temperatura media	Marzo	0.87**	
	Temperatura máxima absoluta	Marzo	<u>0.78*</u>	
	Precipitación	Marzo y Abril		<u>0.88**</u>
	Precipitación	Marzo, Abril y Mayo		<u>0.85**</u>
Verano	Temperatura media	Junio		-0.88**
	Temperatura media de las mínimas	Junio	0.86**	
	Temperatura media	Agosto		<u>-0.75*</u>
	Temperatura máxima absoluta	Agosto		-0.93***
Otoño	Temperatura media de las mínimas	Septiembre		<u>0.90**</u>
	Temperatura media de las máximas	Septiembre		<u>-0.83**</u>
	Precipitación	Septiembre	<u>0.73*</u>	
	Temperatura media	Octubre	<u>-0.82**</u>	
	Temperatura media de las mínimas	Noviembre		0.91**

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre el coeficiente de variación del número de bellotas por m^2 de copa (CV_N) entre árboles, y el coeficiente de variación del peso de la bellota en el árbol (CV_P) con distintas variables meteorológicas. Para el CV_P sólo se consideran las temperaturas acaecidas en verano y otoño (periodo de cuajado, desarrollo y maduración de la bellota) y también las precipitaciones de primavera. Los datos fueron recogidos entre 2001-2006. Las variables sin subrayar son las más correlacionadas con la producción de bellota y se subrayan aquellas que presentaron alta colinealidad ($r > 0.50$). Sólo se muestran las relaciones para los siguientes niveles de significación: *** = $p < 0.01$; ** = $p < 0.05$; * = $p < 0.1$.

Table 3. Pearson correlation coefficients (r) of coefficients of variation in number of acorns among trees (CV_N), and coefficient of variation in fresh acorn weight within a tree (CV_P) vs. weather parameters. For fresh acorn weight we only analyzed relationships with spring precipitation and temperatures of summer and autumn (growth and ripening fruit stages). Data were collected during 2001-2006. Largest correlations were showed through non-underlined numbers and related weather parameters that exhibited high collinearity ($r > 0.50$) were underlined. Significance was indicated as: *** = $p < 0.01$; ** = $p < 0.05$; * = $p < 0.1$.

	Variable	Mes	CV_N	CV_P
Verano	Temperatura media de las mínimas	Junio	<u>-0.86**</u>	
	Temperatura máxima absoluta	Julio		<u>0.89**</u>
	Temperatura mínima absoluta	Agosto	-0.80*	
	Precipitación	Junio, Julio y Agosto	0.90**	
Otoño	Precipitación	Septiembre		-0.95***
	Temperatura media	Octubre		<u>0.89**</u>
	Temperatura media de las máximas	Octubre		0.74*
	Temperatura media de las máximas	Noviembre	0.84**	
	Precipitación	Noviembre		<u>-0.86**</u>

Tabla 4. Modelos lineales mixtos entre el número medio de bellotas por m^2 de copa (N), y las variables meteorológicas que sin presentar colinealidad se encuentran relacionadas con ésta. Las columnas de comparación de modelos hacen referencia a los estadísticos utilizados, entre los que se incluye el valor de p . Finalmente se adjuntan los coeficientes correspondiente a los efectos fijos del modelo (constante, α ; pendiente, β), y la varianza de la constante (σ^2_α) y de la pendiente (σ^2_β) correspondiente a los efectos aleatorios. Todos los coeficientes son significativos para un valor de $p < 0.05$.

Table 4. Summary of mixed linear models between number of acorns per m^2 of crown (N) and weather parameters. We only selected weather variables that did not show high collinearity ($r > 0.50$). Columns are the comparison models statistics (AIC, BIC loglik and p) and coefficients of the final model (all coefficients are significant at $p < 0.05$): coefficients of fixed effects (constant, α ; slope, β), constant variance (σ^2_α) and slope variance (σ^2_β) of random effects. A model included random slope and random constant and B model only included random constant.

Variable	Modelo	Comparación de modelos				Parámetros de los modelos			
		AIC	BIC	Loglik	p	α	σ^2_α	β	σ^2_β
Tmax_Enero	A	954.5	976.5	-471.2	1	5.50	0.36	-0.15	-
	B	950.5	965.2	-471.2					
T_Marzo	A	906.6	928.7	-447.3	1	-4.78	0.40	0.74	-
	B	902.6	917.3	-447.3					
Tmin_Junio	A	858.8	880.9	-423.4	<0.001	-4.13	32.95	0.50	0.12
	B	879.5	894.2	-435.8					

A: Modelo que incluye pendiente y constante aleatoria, B: Modelo que incluye sólo constante aleatoria.

Tabla 5. Modelos lineales mixtos entre el peso fresco medio de la bellota (P) en g, y las variables meteorológicas que sin presentar colinealidad se encuentran relacionadas con ésta. Las columnas de comparación de modelos hacen referencia a los estadísticos utilizados, entre los que se incluye el valor de p . Finalmente se adjuntan los coeficientes correspondiente a los efectos fijos del modelo (constante, α ; pendiente, β), y la varianza de la constante (σ^2_α) y de la pendiente (σ^2_β) correspondiente a los efectos aleatorios. Todos los coeficientes son significativos para un valor de $p < 0.05$.

Table 5. Summary of mixed linear models between fresh acorn weight and weather parameters. We only selected weather variables that did not show high collinearity ($r > 0.50$). Columns are the comparison models statistics (AIC, BIC loglik and p) and coefficients of the final model (all coefficients are significant at $p < 0.05$): coefficients of fixed effects (constant, α ; slope, β), constant variance (σ^2_α) and slope variance (σ^2_β) of random effects. A model included random slope and random constant and B model only included random constant.

Variable	Modelo	Comparación de modelos				Parámetros de los modelos			
		AIC	BIC	Loglik	p	α	σ^2_α	β	σ^2_β
T_Junio	A	1092	1113	-539.8	1	37.70	0.92	-1.36	-
	B	1088	1102	-539.8					
T'_Agosto	A	1066	1087	-526.8	1	46.36	0.94	-1.08	-
	B	1062	1076	-526.8					
Tmin_Noviembre	A	1069	1091	-528.5	0.1	2.03	0.96	0.48	-
	B	1070	1084	-530.9					

A: Modelo que incluye pendiente y constante aleatoria, B: Modelo que incluye sólo constante aleatoria.

Discusión

Los resultados de nuestro trabajo en dehesas del sur de España muestran que *Quercus ilex* exhibe una alta variabilidad en sus patrones de producción de bellotas, no sólo entre años sino también entre individuos. La variación de la producción de bellotas entre encinas para un mismo año es alta, encontrándose un alto valor del coeficiente de variación (CV_{PB}), mayor que el citado por Koenig et al. (2013) para dehesas y más similar al encontrado en bosques, quizás por la alta densidad de arbolado que presenta la finca respecto a la densidad media en la dehesa. La variabilidad inter-anual en la producción individual de semillas alcanza en este estudio un valor inferior al aportado por Koenig et al. (2013) para bosques de encinas en España, probablemente porque en la dehesa la menor competencia por recursos (como nutrientes, agua o luz) debido al pastoreo y la mayor fertilidad del medio (García-Moreno et al. 2013a, b; Koenig et al. 2013), permite una mayor flexibilidad para la adjudicación de recursos a reproducción o a crecimiento a medio plazo. De hecho la vecería es una característica más acentuada en hábitats áridos y de baja fertilidad, donde el tiempo requerido para recuperarse de una alta cosecha se incrementa por la carencia de recursos. Se observa que las variaciones de la producción entre años se deben principalmente a las oscilaciones en el número de

bellotas más que en el peso, lo que es lógico ya que aunque este último está sometido a variaciones, éstas son de menor entidad (Garrido et al. 2005).

A lo largo del trabajo se pone de manifiesto la influencia de la meteorología sobre la producción de bellotas aunque también existe una componente individual importante indicando que la influencia de estas variables no es exactamente igual para todos los árboles. En la **tabla 6** tratamos de sintetizarlas, de relacionarlas con el momento fenológico de la encina en este área, y de justificar su relevancia fisiológica en base a la bibliografía consultada. Para el caso de la cosecha de bellota, por su importancia habría que destacar las condiciones de inicio de la primavera y el otoño.

Fases de floración y polinización

La relación negativa entre la producción anual de semillas y la temperatura media de las máximas de enero podría justificarse pues unas altas temperaturas en esta época pueden adelantar la brotación y si se producen heladas posteriores, se podrían dañar los brotes incipientes y yemas florales (García-Mozo et al. 2001). Dado que la hinchazón y rotura de yemas se inicia en febrero en la zona de estudio (Ferriz et al. 2013), unas temperaturas bajas en esta época pueden disminuir su número e incluso destruirlas,

Tabla 6. Variables meteorológicas que han mostrado algún tipo de relación con la producción de bellota ($p < 0.05$) en este estudio y su relevancia biológica.
Table 6. List of weather parameters related to acorn production ($p < 0.05$) in this study and their biological relevance.

Variable	Estado fenológico	Relevancia fisiológica	Referencias bibliográficas
T _{max} _Enero	Desarrollo y engrosamiento de las yemas	Altas temperaturas antes del inicio de la floración pueden favorecer daños por heladas en yemas	García-Mozo et al. 2001; Ferriz et al. 2013
T_Marzo T'_Marzo	Desarrollo de brotes fructíferos femeninos Inicio de la floración masculina	Temperaturas suaves al inicio de la primavera adelantan la brotación y floración y alargan el periodo de polinización	Sork et al. 1993; Koenig et al. 1996; García-Mozo et al. 2007; Pons y Pausas 2012; Ferriz et al. 2014
T _{max} _Mayo		Altas temperaturas máximas al final de la floración favorecen los abortos y caídas tempranas de bellota	Cecich 1997
P_Marzo_Abril	Floración masculina Floración femenina	Abundantes lluvias durante la primavera incrementan la cantidad de recursos en el árbol para el desarrollo y maduración del fruto	Wulff 1986; Garrison et al. 2008; Hoch et al. 2013
T _{min} _Junio T_Junio	Consolidación del fruto	Mayores temperaturas mínimas durante los primeros estadios de desarrollo del fruto aceleran su crecimiento Altas temperaturas durante los estadios iniciales de desarrollo del fruto favorecen los abortos y caídas tempranas	Gil-Albert 1991; Agustí et al. 2003 Díaz-Fernández et al. 2004
T_Agosto T'_Agosto	Desarrollo del fruto	El mayor estrés hídrico durante el verano promueve abortos y caídas de fruto, reduce su tamaño y aumenta su variabilidad al aumentar la competencia por los recursos del árbol entre frutos	Gil-Albert 1991; Cecich y Sullivan 1999; Díaz-Fernández et al. 2004; Perez-Ramos et al. 2010
T _{max} _Septiembre T_Octubre	Maduración del fruto	Mayores temperaturas medias y máximas durante el inicio del otoño incrementan las caídas de bellotas por ataques de insectos y por competencia por los recursos entre frutos	Soria et al. 1995; Carevic et al. 2010; Alejano et al. 2011
T _{min} _Septiembre T _{min} _Noviembre	Maduración del fruto	Un desarrollo del otoño con unas temperaturas medias mínimas suaves propicia frutos mayores y de tamaño más homogéneo ya que extiende durante un mayor periodo el desarrollo del fruto	Díaz-Fernández 2000; López-Carrasco et al. 2007
P_Septiembre	Desarrollo y maduración del fruto	Las lluvias al inicio del otoño favorecen la maduración homogénea de frutos	García-Mozo et al. 2007; Montserrat-Martí et al. 2009

P: Precipitación, T': Temperatura máxima absoluta, T_{max}: Temperatura media de las máximas, T: Temperatura media mensual, T_{min}: Temperatura media de las mínimas, t': Temperatura mínima absoluta.

afectando por tanto a la producción de flores masculinas y femeninas. No se ha encontrado relación, sin embargo, entre la lluvia de estos meses y la producción, quizás porque no hemos tenido inviernos extremadamente secos (todos superan los 100 mm). Este resultado contrasta con los obtenidos por [García-Mozo et al. \(2007\)](#) en otras dehesas cercanas, que mostraron una fuerte influencia de la humedad en invierno sobre la producción de polen, al necesitar éste algo de agua para su formación.

Nuestros resultados mostraron también un importante efecto de las condiciones meteorológicas al inicio de la foliación y floración masculina. Las temperaturas suaves a finales de invierno adelantan la brotación, favorecen la producción y dehiscencia del polen y alargan el periodo de polinización, por lo que aumenta el periodo de solapamiento entre flores masculinas y femeninas, y por tanto el éxito de la fertilización ([Sork et al. 1993](#); [Cecich 1997](#); [Koenig et al. 1996](#); [García-Mozo et al. 2007](#); [Fernández-Martínez et al. 2012](#); [Ferriz et al. 2013](#)). Este resultado contrasta con los obtenidos por [Fernández-Martínez et al. \(2012\)](#), que encontraron escasa respuesta en la cosecha de bellota a las variaciones en la producción de polen. Además, un mes de marzo más cálido y con menor incidencia de heladas propicia un mayor desarrollo de los brotes que portan las yemas fructíferas aumentando la producción de flores femeninas y la capacidad de sustento para los futuros frutos ([Gil-Albert 1991](#); [Díaz-Fernández 2000](#); [Montserrat-Martí et al. 2009](#)), hechos importantes cuando el potencial de producción de bellota es alto como ocurre en esta zona. Para [Pons y Pausas \(2012\)](#) las heladas en primavera constituyen uno de los factores más determinantes para la producción de bellota en alcornoques de ciclo anual. [Cecich \(1997\)](#) indica que las altas temperaturas durante la primavera provocan el aborto de flores y frutos pequeños. No se ha encontrado, relación del número de bellotas con la precipitación primaveral a diferencia de [Fernández-Martínez et al. \(2012\)](#) para los que esta variable explica en gran medida las variaciones en la producción de bellotas. Sin embargo, sí encontramos una relación positiva del peso de la bellota con la precipitación primaveral, quizás debido a que el desarrollo del fruto depende más bien de los recursos que el árbol es capaz de obtener en el año en curso, que de aquellos que tenga almacenados ([Hoch et al. 2013](#)). [García-Mozo et al. \(2007\)](#) sí encuentra relación positiva entre la precipitación de marzo con la producción, y negativa con la precipitación de abril, pues la existencia de lluvias y nieblas durante las fases de dispersión de polen dificultaría la fecundación de las flores femeninas al tratarse de árboles de polinización anemófila. Nuestro trabajo se ha realizado sobre una dehesa con una densidad media de arbolado, habitualmente podado y de orografía llana, condiciones que mejoran la homogeneidad de la polinización ([Peter y Harrington 2002](#)) y que podrían explicar esta ausencia de relaciones negativas con las precipitaciones de abril.

Fase de cuajado y desarrollo del fruto

En este trabajo el verano no parece ser una estación tan influyente para la producción de bellotas en comparación con otros estudios previos ([Espelta et al. 2008](#); [Montserrat-Martí et al. 2009](#); [Carevic et al. 2010](#); [Pérez-Ramos et al. 2010](#); [Pons y Pausas 2012](#)), lo que puede indicar una buena adaptación de los árboles al largo periodo de estiaje ([Abrahamson y James 2003](#)). Quizás también el suelo tiene capacidad para albergar una cantidad de agua suficiente para mantener la actividad del árbol ([Abrahamson y James 2003](#)), y el estrés hídrico y sus efectos sobre el fruto se manifiestan a final del verano o al principio de otoño, cuando la disponibilidad de agua es mínima. Si hay lluvias tempranas en otoño, este estiaje podría no manifestarse. La orografía llana del área de estudio provoca un drenaje lento hacia arroyos y ríos que podría mantener agua en el suelo hasta bien entrado el verano. Se ha encontrado que unas temperaturas mínimas suaves en junio se encuentran relacionadas con un mayor número de frutos, quizás porque se acelera el crecimiento de estos y por tanto su consolidación y cuajado ([Gil-Albert 1991](#); [Agustí et al. 2003](#)) frente a las caídas o aclareos fisiológicos que realiza el árbol durante esta fase

([Gil-Albert 1991](#)) y que suelen afectar a los frutos más atrasados o peor situados. Estas caídas son más evidentes a medida que la cosecha es mayor ([Westwood 1982](#)), quizás por ello la influencia de esta variable es distinta para cada árbol. Por el contrario, se ha visto que una mayor temperatura media y máxima en junio y agosto se encuentra relacionada de manera negativa con el peso del fruto. Es en verano cuando se produce una fuerte competencia entre diferentes frutos por los recursos ([Gil-Albert 1991](#); [Cecich y Sullivan 1999](#); [Díaz-Fernández et al. 2004](#)) y unas mayores temperaturas pueden dificultar el llenado del mismo. En este sentido se ha encontrado que unas mayores precipitaciones durante el verano parecen aumentar las diferencias en producción entre árboles, quizás porque ayuden a consolidar las cosechas y evitar caídas prematuras, lo que puede beneficiar especialmente a aquellos árboles más productores. En cambio [Espelta et al. \(2008\)](#) encuentran que un mayor estrés en verano (lo que incluye menos precipitaciones en este periodo) refuerza la variabilidad de la producción de bellotas dentro de la especie y entre especies diferentes que coexisten.

Fase de maduración del fruto

Para este trabajo el otoño es otra de las estaciones clave para consolidar la cosecha de bellotas, especialmente en su tramo inicial. Así, la ocurrencia de lluvias al comienzo del otoño parece ser un factor clave para asegurar la producción al minimizar la caída de frutos ([García-Mozo et al. 2007](#); [Montserrat-Martí et al. 2009](#)). En este trabajo se han encontrado también relaciones negativas de la temperatura media de octubre con la producción de bellota. Unas altas temperaturas durante el inicio del otoño unidas al retraso de las lluvias otoñales puede propiciar una caída importante de frutos al serle imposible al árbol encontrar recursos para su mantenimiento ([Carevic et al. 2010](#); [Alejano et al. 2011](#)). En este estudio, a diferencia de otros ([Espelta et al. 2008](#); [Carevic et al. 2010](#); [Pérez-Ramos et al. 2010](#)), la sequía se manifiesta a principios de otoño cuando se retrasa la lluvia, siendo más importante para la producción de bellota el retraso de las lluvias otoñales que la propia sequía estival que siempre existe. La influencia negativa de la temperatura media de octubre en la producción podría también explicarse por un aumento de la incidencia de carpófagos que provocan caídas prematuras de la producción de bellota, ya que está constatado que otoños con temperaturas medias altas aceleran su ciclo biológico ([Soria et al. 1995](#); [Koenig et al. 2013](#); [Pérez-Izquierdo y Pulido 2013](#)).

La explicación a la mayor influencia de las condiciones de inicio de primavera sobre el número de frutos, y del verano y otoño sobre el peso de la bellota podría deberse a que en la determinación del número de flores influyen las condiciones meteorológicas pero también los recursos endógenos del árbol, mientras que los recursos para el proceso de desarrollo y maduración de la bellota parecen ser independientes de las reservas internas del árbol, procediendo más bien de recursos obtenidos durante el año en curso a través de la fotosíntesis y de la absorción por las raíces ([Hoch et al. 2013](#)). De hecho aunque otros estudios previos ([Koenig y Knops 2000](#); [Lusk et al. 2007](#)) encuentran correlación entre la producción de bellota y la pluviometría anual, en este trabajo se han detectado relaciones con la pluviometría en determinados momentos del año a semejanza de lo encontrado por [García-Mozo et al. \(2007\)](#) y [López-Carrasco et al. \(2007\)](#).

Implicaciones para el manejo

Los resultados obtenidos nos indican que años con meses de marzo cálidos pueden propiciar brotaciones tempranas y buena producción de flores, y en años en los que el estiaje del verano se prolongue durante octubre, la cosecha puede mermar de manera importante. En este último caso los aprovechamientos y actuaciones ligadas a la producción de bellota (cría y cebo de cerdos, gestión de fauna silvestre o regeneración del arbolado mediante siembra) habrán de planificarse cuidadosamente y a la baja. Aunque el trabajo presentado pone de manifiesto la importancia de determinadas variables meteorológicas para la producción de bellota en la dehesa, y a pesar de que incluye años de muy diferente en-

tividad productiva, hubiera sido deseable un mayor número de años y casuística para confirmar estas tendencias dada la alta variabilidad de la producción de frutos en los *Quercus* y la irregularidad climática del mediterráneo. Puesto que para la variable número de bellotas el comportamiento de la población no refleja los comportamientos individuales, podría ser interesante ahondar en el análisis de las relaciones entre la meteorología y la producción de bellotas usando árboles con diferente potencialidad productiva.

Conclusiones

A lo largo del trabajo se pone de manifiesto la influencia de la meteorología sobre la producción de bellotas de encina en una dehesa con altas producciones, aunque también la heterogénea respuesta individual del arbolado frente a algunas variables meteorológicas. Especialmente determinantes para asegurar buenas cosechas son unas temperaturas suaves durante el mes de marzo, ya que se adelantan las brotaciones y floraciones y presumiblemente se prolonga el proceso de polinización. También importantes son las condiciones a inicios del verano pues unas mayores temperaturas mínimas en junio incrementan el número de frutos totales que cuajan en el árbol. Sin embargo, la influencia de esta variable difiere entre árboles, poniéndose de manifiesto la variabilidad de respuestas individuales. Menores temperaturas durante el verano incrementan el tamaño del fruto y un inicio del otoño con precipitaciones y temperaturas máximas menores mejora la producción de bellotas al disminuir el estrés hídrico del árbol y permitir la maduración de las mismas. Además, el peso del fruto se ve afectado positivamente por unas temperaturas mínimas más altas en noviembre que permiten prolongar su periodo de maduración. Finalmente no se detecta influencia de la meteorología sobre la variación del peso de la bellota dentro del árbol.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto andaluz BRASPHEN (P2010-AGR-6501) y por el proyecto "Evaluación de la medidas agroambientales para el fomento de la Dehesa en Andalucía" financiado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2000-2010). El contrato de M.D. Carbonero está financiado por el programa operativo FSE de Andalucía (2007-2013).

Referencias

- Abrahamson, W.G., James, N.L. 2003. Long-term patterns of acorn production for five oak species in xeric florida uplands. *Ecology* 84 (9): 2476-2492.
- Agustí, M., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Juan, M., Almela, V. 2003. *Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos*. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana, Valencia, España.
- Alejano, R., Tapias, R., Fernández, M., Torres, E., Alaejos, D. 2008. Influence of pruning and the climatic conditions on acorn production in holm oak (*Quercus ilex* L.) dehesas in SW Spain. *Annals Forest Science* 65: 1-5.
- Alejano, R., Vázquez-Piqué, J., Carevic, F., Fernández, M. 2011. Do ecological and silvicultural factors influence acorn mass in Holm oak (south-western Spain)? *Agroforestry system* 83: 25-39.
- Carbonero, M.D., Fernández-Rebollo, P., Navarro, R. 2002. Evaluación de la producción y del calibre de bellotas de *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf) Samp a lo largo de un ciclo de poda. Resultados de la campaña 2001-2002. En: Chocarro et al. (eds.), *Producción de pastos, forrajes y céspedes*, pp 633-638. Universitat de Lleida, Lleida, España.
- Carbonero, M.D., García-Moreno, A., Fernández-Rebollo, P. 2012. Masting evaluation in holm oak by alternation index. En: Canals, R., y San Emeterio, L. (eds.), *Proceedings of the LI Spanish Society for the Study of Pastures (SSSP)*, pp 59-66. SSSP, Pamplona, España.
- Campos, P., Huntsinger, L., Oviedo, J.L., Díaz, M., Starrs, P., Standiford, R.B. y Montero, G. (eds.). 2013. *Mediterranean Oak Woodland Working Landscapes: Dehesas of Spain and Ranchlands of California*. Springer, Nueva York, Estados Unidos.
- Carevic, F., Fernández, M., Alejano, R., Vázquez-Piqué, J., Tapias, R., Corral, E., Domingo, J. 2010. Plant water relations and edaphoclimatic conditions affecting acorn production in a holm oak (*Quercus ilex* L. ssp. *ballota*) open woodland. *Agroforestry system* 78 (3): 299-308
- Cecich, R.A. 1997. The influence of weather on pollination and acorn production. En: S.R. Pallardy S.R. et al. (eds.), *Proceedings of the 11th Central Hardwood Forest Conference*, pp. 252-261. Columbia, M.O., Estados Unidos.
- Cecich, R.A., Sullivan, N.H. 1999. Influence of weather at time of pollination on acorn production of *Quercus alba* and *Quercus velutina*. *Canadian Journal of Forest Research* 29(12): 1817-1823
- Costa, J.C., Martín, A., Fernández, R., Estirado, M. 2006. *Dehesas de Andalucía: caracterización ambiental*. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- Díaz, M., Alonso, C.L., Beamonte, E., Fernández, M., Smit, C. 2011. Desarrollo de un protocolo de seguimiento a largo plazo de los organismos clave para el funcionamiento de los bosques mediterráneos. En: Ramírez, L. y Asensio, B. (eds.) *Proyectos de investigación en parques nacionales: 2007-2010*, pp. 47-75. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid. España. http://www.magrama.gob.es/es/organismo-autonomo-parques-nacionales-oapn/prog-invpn/divulgacion/03_INVESTIGACION_OK_tcm7-180265.pdf
- Díaz-Fernández, P.M. 2000. *Variabilidad de la fenología y del ciclo reproductor de Quercus suber L. en la Península Ibérica*. Tesis doctoral, Universidad politécnica de Madrid, España.
- Díaz-Fernández, P.M., Climent, J., Gil, L. 2004. Biennial acorn maturation and its relationship with flowering phenology in Iberian populations of *Quercus suber*. *Trees* 18: 615-621.
- Espeleta, J.M., Cortés, P., Molowny-Horasz, R., Sánchez-Humanes, B., Retana, J. 2008. Masting mediated by summer drought reduces acorn predation in Mediterranean oak forests. *Ecology* 89: 805-817
- Ezquerro, F.J. 2011. De cómo las dehesas se confundieron con su nombre. Reflexiones sobre la génesis histórica de los sistemas adehesados. En: López-Carrasco et al. (eds.), *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp 535-552. SSSP, Toledo, España.
- Fearer, T.M., Norman, G.W., Pack Sr, J.C., Bittner, S., Healy, M.H. 2008. Influence of physiographic and climatic factors on spatial patterns of acorn production in Maryland and Virginia, USA. *Journal of Biogeography* 35: 2012-2025
- Fernández-Martínez, M., Belmonte, J., Espeleta, J.M. 2012. Masting in oaks: Disentangling the effect of flowering phenology, airborne pollen load and drought. *Acta Oecologica* 43: 51-59
- Fernández-Rebollo, P., Carbonero, M.D. 2008. La dehesa como hábitat natural para el Cerdo Ibérico. En: Forero, J. (eds.), *El cerdo ibérico. Una revisión transversal*, pp 103-134. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y Fundación Caja Rural del Sur, Sevilla, España.
- Férriz, M., Carbonero, M.D., Hidalgo, M.T., Leal, J.R., García, A., Fernández-Rebollo, P. 2013. Holm oak phenology in afforested dehesas. Poster. En: *Environment Workshops 2013, Oak forests coping with global change: ecology and management*. 30-2 Septiembre 2013. Baeza, España. UNIA, Jaén, España.
- Ferriz, M., Carbonero, M.D., García-Moreno, A., Fernández-Rebollo, P. 2014. Fenología de la encina y su relación con la producción de bellota en la dehesa. En: Busqué et al. (eds.), *Pastos y PAC 2014-2020*, pp 129-136. Potes, España.
- García Moreno, A.M., Carbonero, M.D., Leal, J.R., Moreno, F., Fernández-Rebollo, P. 2013a. Grazing intensity effects on masting, synchrony and acorn production of holm oak in dehesas. In: Montero González, M. Guisjarro Guzmán et al. (eds.), *Proceedings of the VI Meeting of the Spanish Society of Forest Science*. CD-Rom. 6CFE01-125: [12]. 10-14 June 2013. Vitoria, España.
- García-Moreno, A., Carbonero-Muñoz, M.D., Serrano-Moral, M., Fernández-Rebollo, P. 2013b. Nutritional status of *Quercus ilex* L. in response to different uses of Mediterranean open woodlands. Poster y comunicación oral. En: *Environment Workshops 2013, Oak forests coping with global change: ecology and management*. 30-2 September. Baeza. UNIA, Jaén, España.
- García-Mozo, H., Hidalgo, P.J., Galán, C., Gómez-Casero, M.T., Domínguez, E. 2001. Catkin frost damage in Mediterranean cork-oak (*Quercus suber* L.). *Israel Journal of Plant Sciences* 49:41-47
- García-Mozo, H., Gómez-Casero, M.T., Domínguez, E., Galán, C. 2007. Influence of pollen emission and weather-related factors on variations in holm-oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) acorn production. *Environmental and Experimental Botany* 61: 35-40.
- Garrido, J. L., Rey, P. J., Herrera, C. M. 2005. Fuentes de variación en el tamaño de la semilla de la herbácea perenne *Helleborus foetidus* L. (Ranunculaceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 62(1): 115-125

- Garrison, B.A., Koenig, W.D., Knops, J.M.H. 2008. Spatial synchrony and temporal patterns in acorn production of California black oaks. En: Merenlender, A., McCreary, D., Purcell, K.L. (eds.), *Proceedings of 6th symposium on oak woodlands: today's challenges, tomorrow's opportunities*. Pacific SW Forest and Range Exp Station General Technical Report PSW-GTR-217, USA.
- Gil-Albert, F. 1991. *Tratado de arboricultura frutal. Vol. 1, Aspectos de la morfología y fisiología del árbol frutal*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- Hoch, G., Siegwolf, R.T.W., Keel, S.G., Körner, C., Han, Q. 2013. Fruit production in three masting tree species does not rely on stored carbon reserves. *Oecologia* 171: 653–662.
- Koenig, W.D., Knops, J. 2000. Patterns of annual seed production by Northern Hemisphere trees: a global perspective. *American Naturalist* 155: 59–69.
- Koenig, W.D., Knops, J.M.H., Carmen, W.J., Stanback, M.T., Mumme, R.L. 1996. Acorn production by oaks in central coastal California: influence of weather at three levels. *Canadian Journal of Forest Research* 26:1677–1683.
- Koenig, W.D., Díaz, M., Pulido, M., Alejano, R., Beamonte, E., Knops, J.M.H. 2013. Acorn production patterns. En: Campos, P. et al. (eds.), *Mediterranean oak woodland working landscapes*, pp 181–212. Springer-Verlag, Dordrecht, Países Bajos.
- López-Carrasco, C., Daza, A., Rey, A., López-Bote, C. 2004. Efectos de las heladas y los carpófagos (*Curculio* sp.) sobre la calidad de bellotas en una dehesa de Castilla-La Mancha. En: García-Criado et al. (eds.), *Pastos y ganadería Extensiva*, pp 427–432. IRNA-CSIC, Salamanca, España.
- Lopez-Carrasco, C., Robledo, J.C., Muñoz De Luna, T. 2007. Variaciones interanuales de la duración de la caída de bellotas de encina en la campaña de Oropesa, Toledo. Efecto de las temperaturas y precipitaciones. En: Aldezabal et al. (eds.) *Los sistemas forrajeros: entre la producción y el paisaje*, pp. 82–88. NEIKER, Vitoria-Gasteiz, España.
- Lusk, J.J., Swihart, R.K., Goheen, J.R. 2007. Correlates of interspecific synchrony and interannual variation in seed production by deciduous trees. *Forest Ecology and Management* 242: 656–670.
- Montserrat-Martí, G., Camarero, J.J., Palacio, S., Pérez-Rontomé, C., Milla, R. 2009. Summer-drought constrains the phenology and growth of two coexisting Mediterranean oaks with contrasting leaf habit: implications for their persistence and reproduction. *Trees* 23: 787–799.
- Montero, G., San-Miguel, A., Cañellas, I. 2000. *Systems of Mediterranean silviculture "La dehesa"*. Mundiprensa, Madrid, España.
- Moreno, G., Pulido, F. 2009. The functioning, management, and persistence of dehesas. En: Rigueiro et al. (eds.), *Agroforestry in Europe*, pp. 127–160. Springer, Amsterdam, Holanda.
- Pérez-Izquierdo, L., Pulido, F. 2013. Spatiotemporal variation in acorn production and damage in a Spanish holm oak (*Quercus ilex*) dehesa. *Forest Systems* 22(1): 106–113.
- Pérez-Ramos, I.M., Ourcival, J.M., Limousin, J.L., Rambal, S. 2010. Mast seeding under increasing drought: results from a long-term data set and from a rainfall exclusion experiment. *Ecology* 91:3057–3068.
- Peter, D., Harrington, C. 2002. Site and tree factors in Oregon white oak acorn production in Western Washington and Oregon. *Northwest Science* 76(3): 189–200.
- Plieninger, T., Pulido, F., Konold, W. 2003. Effects of land-use history on size structure of holm oak stands in Spanish dehesas: implications for conservation and restoration. *Environmental Conservation* 30 (1): 61–70.
- Pons, J., Pausas, J.G. 2012. The coexistence of acorns with different maturation patterns explains acorn production variability in cork oak. *Oecologia* 169(3):723–731.
- Pulido, F., Picardo, A., Campos, P., Carranza, J., Coleto, J.M., Díaz, M., Diéguez, E., Escudero, A., Ezquerro, F.J., Fernández, P., López, L., Montero, G., Moreno, G., Olea, L., Roig, S., Sánchez, E., Solla, A., Vargas, J.D., Vidiella, A. 2010. *Libro Verde de la Dehesa. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León, Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF), Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (SEEP), Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET), Sociedad Española de Ornitología(SEO)*. Salamanca. España.
- Rodríguez-Estevez, V., García, A., Gómez, A.G. 2009. Characteristics of the acorns selected by free range Iberian pigs during the montanera season. *Livestock Science* 122: 169–176.
- Soria, F. J., Villagrán, M., Del Tió, R., Ocete, M. E. 1995. Incidencia de *Curculio Elephas* Gyll. (Col., Curculionidae) en alcornoques y encinares del Parque Natural Sierra Norte de Sevilla. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas* 21: 195–201.
- Sork, V., Bramble, J., Sexton, O. 1993. Ecology of mast-fruiting in three species of North American deciduous Oaks. *Ecology* 74: 528–541.
- Westwood, N. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Mundiprensa, Madrid, España.
- Wulff, R. 1986. Seed Size Variation in *Desmodium paniculatum*: I. Factors Affecting Seed Size. *Journal of Ecology* 74 (1): 87–97.