

## LA MORFOLOGÍA Y LA “SECA” DE LA CARRASCA DETERMINAN EN PARTE EL NÚMERO DE ESPECIES Y LAS PROPIEDADES DEL SUELO BAJO SU DOSEL

Estrella Pastor Llorca <sup>1</sup>, Delfina Martínez Giménez <sup>3</sup>, Adrián Martínez Tormo <sup>1</sup>,  
Andreu Bonet Jornet <sup>1,2,3</sup>, y Santiago Soliveres Codina <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ecología, Universidad de Alicante. [estrella.pastor@ua.es](mailto:estrella.pastor@ua.es)

<sup>2</sup> Instituto Multidisciplinar del Medio “Ramón Margalef”, Universidad de Alicante.

<sup>3</sup> Estación Científica Font Roja Natura, UA.

**Resumen.** La morfología de la carrasca (*Quercus rotundifolia* Lam.) varía ampliamente entre poblaciones e individuos, desde portes arbóreos a arbustivos de distintos tamaños, número de tallos y densidades foliares. Estos cambios están relacionados tanto con las perturbaciones climáticas y el manejo humano como con las enfermedades sufridas a lo largo del tiempo. En la Península Ibérica una de las principales preocupaciones desde los años 80 es la “seca” de los *Quercus*. Enfermedad compleja promovida por el hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands. Sus síntomas principales son la defoliación y el secado de las puntas de las ramas, llegando a causar en ocasiones la muerte de los individuos. Nuestras hipótesis de partida fueron a) que la estructura morfológica de la carrasca podría estar vinculada con la aparición de la “seca” y b) que tanto la morfología como el estado (afectada o no por la “seca”) de las mismas podrían determinar el efecto sobre otras especies vegetales o procesos del ecosistema, como la fijación de carbono. Se seleccionaron 43 carrascas dispersas en una matriz arbustiva presente en el P.N. del Carrascal de la Font Roja (Alcoy, Alicante) que diferían tanto en la morfología como en su estado y se analizó a) si la altura, el área que ocupa, el número de tallos y la biomasa de rebrotes estaban relacionados con su estado, y b) si los cambios de la morfología y el estado dan lugar a cambios en la riqueza de especies de plantas y otros atributos del ecosistema tales como biomasa y abundancia vegetal, carbono orgánico (CO) del suelo, capacidad de almacenamiento de agua, reciclado de nutrientes y resistencia a la erosión. El índice de área foliar (LAI) se utilizó como variable representativa del estado; menor LAI correspondió a una probabilidad mayor de presentar “seca”. Los resultados mostraron que la estructura morfológica no estaba vinculada a la presencia de la seca. Además, se observó un efecto negativo de la altura sobre la abundancia y la biomasa vegetal, que los suelos bajo las carrascas sanas presentaban mayor capacidad de almacenamiento del agua y reciclado de nutrientes y, por último, que el estado modula el efecto del número de tallos sobre el CO y la riqueza (en las carrascas afectadas se observa un efecto negativo sobre el CO del suelo y positivo sobre la riqueza). Nuestro estudio demuestra que los efectos de la carrasca sobre su entorno son diversos y dependen de factores que se pueden modificar mediante el manejo (como su morfología) o su estado de salud.

**Palabras clave:** biodiversidad, funciones ecosistémicas, morfología, *Quercus rotundifolia* Lam., “seca”.

**Resum.** La morfología de la carrasca (*Quercus rotundifolia* Lam.) varia àmpliament entre poblacions i individus, les carrasques poden ser des de arbres fins matolls de diferents mides, nombre de tiges i densitats foliars. Aquests canvis estan relacionats tant amb perturbacions climàtiques i maneig humà, com amb malalties patides al llarg del temps. A la Península Ibèrica, una de les preocupacions principals des dels anys 80 es la “seca” dels *Quercus*. És una malaltia complexa, promoguda pel fong *Phytophthora cinnamomi* Rands. Els seus símptomes principals són la defoliació i assecat de les branques, arribant fins i tot a causar la mort de l'arbre. Les nostres hipòtesis de partida van ser: a) que la morfologia de la carrasca està vinculada amb l'aparició de la “seca”, i b) que tant la morfologia com l'estat (afectada o no per la “seca”) de les carrasques determinen l'efecte sobre altres espècies vegetals i processos de l'ecosistema, com són la fixació de carboni. Vam seleccionar 43 carrasques disperses a una matriu arbustiva present en el P.N. del Carrascal de la Font Roja (Alcoi, Alacant) que es diferenciaven tant en la morfologia com en l'estat, analitzant: a) si l'alçària, l'àrea que ocupa, el nombre de tiges i la biomassa de rebrots estaven relacionats amb l'estat, i b) si els canvis en la morfologia i estat donen lloc a canvis en la riquesa d'espècies, la biomassa i nombre d'individus de plantes, el contingut de carboni en el sòl, la capacitat per emmagatzemar aigua, reciclar nutrients o resistir a l'erosió. L'índex d'àrea foliar (LAI) es va utilitzar com a variable representativa de l'estat; menys LAI correspon amb individus que han patit la “seca”. Els resultats van mostrar que la morfologia de la carrasca no estava relacionada amb la presència de la “seca”. També, vam observar un efecte negatiu de l'alçària en l'abundància i biomassa vegetal, i que els sòls sota les carrasques sanes presentaven millor capacitat de retenir l'aigua i reciclar els nutrients i, per últim, que l'estat altera l'efecte del nombre de tiges en el contingut de carboni i la riquesa (les carrasques sanes amb més tiges tenen més carboni al sòl i menys espècies vegetals, al contrari de les carrasques que han patit la “seca”). L'estudi demostra que els efectes de la carrasca sobre el seu voltant són diversos i dependents de factors que podem modificar amb el maneig (com la morfologia) i el seu estat de salut.

**Paraules clau:** biodiversitat, funcions ecosistèmiques, morfologia, *Quercus rotundifolia* Lam., “seca”.

**Abstract.** Oak morphology (*Quercus rotundifolia* Lam.) varies between populations and individuals; they can be either trees or shrubs, with contrasting sizes, number of stems and leaf densities. These changes are related to climatic disturbances and human management and to diseases suffered over time. In the Iberian Peninsula, one of the main concerns since the 1980s has been the

"oak decline". This is a complex disease promoted by a fungal infection (*Phytophthora cinnamomi* Rands ). Its main symptom is the progressive fall of leaves and death of upper branch tips, sometimes causing the death of the whole individual. Our hypotheses were: a) oak morphology can be linked to the "oak decline", and b) oak morphology and its state (affected or not by the "oak decline") determine the effect of oaks on other plant species or on ecosystem processes, such as carbon fixation. We selected 43 oaks present in the "P.N. del Carrascal de la Font Roja" (Alcoy, Alicante), that differed in their morphology and state. We analyzed a) if the height, the area, the number of stems and the biomass of sprouts were related to its state, and b) if the changes in morphology and state affected understorey plant species richness and other ecosystem attributes such as biomass and plant abundance, soil organic carbon (CO), water storage capacity, nutrient cycling and resistance to erosion. The leaf area index (LAI) was used as a representative variable of the state; lower LAI corresponded to a higher probability of presenting "oak decline". We concluded that the morphological structure was not linked to the presence of the "oak decline". However, we observed a negative effect of height on understorey plant abundance and biomass, that the soils under healthy oaks had a greater capacity for water storage and nutrient recycling and, lastly, that the state modulated the effect of the number of stems on CO and understorey richness (in affected oaks: a negative effect on soil CO and a positive effect on richness). Our study shows that oak effects on its environment are diverse and depend on factors that can be modified by management (such as its morphology) or its health state.

**Keywords:** ecosystem functions, biodiversity, morphology, oak decline, *Quercus rotundifolia* Lam.

## INTRODUCCIÓN

La carrasca (*Quercus rotundifolia* Lam.), especie esclerófila característica del bosque Mediterráneo (Rivas-Martínez, 1987), es la especie forestal que más territorio ocupa en la Península Ibérica. Su morfología varía ampliamente entre poblaciones e individuos, debido principalmente a los tratamientos selvícolas que han sufrido a lo largo del tiempo (Garnica y Robles, 1991). El alto interés que hubo por la producción de sus frutos, las bellotas, y la obtención de leña dio lugar a una alta manipulación de sus bosques, hasta los años 60 en que se vio bruscamente paralizada por su pérdida de valor en el mercado. Su abandono llevó consigo el "reviejado" de las masas, dando lugar a lo que se observa hoy en día en la mayoría de las dehesas, matorrales y montes (Montoya y Mesón, 1994).

Esta especie junto a otras de su mismo género se han visto afectadas en numerosas ocasiones por la enfermedad denominada la "seca". Sus principales síntomas son la defoliación y el secado de las puntas de las ramas, llegando a causar la muerte de los individuos. En la Península Ibérica, esta enfermedad ha sido una de las principales preocupaciones desde los años 80 (Cobos et al., 1993; Arias y del Pozo, 1997), ya que las especies del género *Quercus* se consideran clave en los ecosistemas mediterráneos (Pérez-Ramos et al., 2014). Se trata de una enfermedad compleja en la que intervienen múltiples factores tanto abióticos como bióticos (Meson y Montoya, 1993; Montoya y Meson, 1997; Sánchez et al., 2000b; Tuset y Sánchez, 2004; Caetano et al., 2010). En un

principio se consideraba que la enfermedad estaba asociada, principalmente, a factores abióticos relacionados con las condiciones climatológicas. Sin embargo, se ha comprobado que en la mayoría de las veces la intervención de los hongos es primordial para su aparición. Para un buen entendimiento de las causas de la enfermedad, los agentes o factores que intervienen en la aparición de la misma se pueden agrupar en cuatro: factores de predisposición, detonadores, catalizadores y ejecutores (Montoya y Meson, 1994). Los factores de predisposición son aquellos relacionados con el estado del bosque (ej.: envejecimiento y debilidad del árbol). Los detonadores, en el caso de España, serían periodos intensos de sequía. Los factores catalizadores corresponden a situaciones microclimáticas en el que los suelos secos al final del verano han estado previamente encharcados. Por último, los factores ejecutores corresponden a todos los patógenos que causan definitivamente la muerte del arbolado (insectos, bacterias y en especial, los hongos). Puntualizar que los daños de la enfermedad pueden aparecer sin que tengan que darse simultáneamente todos estos factores.

En las dehesas y bosques de España, la especie que se ha encontrado especialmente vinculada a la enfermedad de la "seca" ha sido el hongo de raíz *Phytophthora cinnamomi* Rands (Brasier et al, 1993; Cobos et al, 1993; Tuset et al., 1996; Gallego et al., 1999; Sanchez et al., 2003; Rodriguez-Molina et al., 2002 and 2003). Este hongo necesita de tejido vegetal vivo como fuente de alimento y de agua libre para la formación de sus órganos de reproducción (Tuset et al., 2006). Ataca inicialmente

a las raíces, desarrollándose sólo en ambientes con un porcentaje de humedad alto (Corral et al., 2018) y suelos de tipo margosos y arcillosos (Tuset et al., 2002; Duniway, 1983; Brasier et al., 1993). Además, parece ser que su patogenicidad está relacionada con las condiciones climáticas. Por ejemplo, la alternancia de episodios de fuertes lluvias y encharcamientos con períodos de sequías severa aumentan la susceptibilidad del hospedador favoreciendo su actividad (Tuset et al., 1996; Brasier, 1996). También, se han observado factores bióticos que promueven la infección por este hongo como la presencia de ciertas especies en el estrato arbustivo (ej.: *Cistus ladanifer*) y la cobertura y edad de las encinas (Moreira y Martins, 2005; Corral et al., 2018). Igualmente, se han visto implicados en el desarrollo de esta enfermedad otros hongos (ej.: *Phytium sp.*), la bacteria *Brenneria quercina* e insectos barrenadores como *Cerambyx sp* (Sánchez et al., 2003; Rodríguez-Molina et al., 2003; Biosca et al., 2003). Incluso se ha observado que ciertos tratamientos selvícolas, como un mal manejo de ciertas prácticas para mantener el bosque (aclareos, podas y rozas), podrían llegar a convertir la morfología de la planta en un factor de predisposición en el proceso de la "seca" (Montoya y Meson, 1994; Leco Berrocal, 1994; Carrasco et al., 2009).

Hasta hoy en día, los estudios se han centrado en los agentes o factores que causan la enfermedad, pero no se han investigado las consecuencias que ésta puede tener sobre importantes atributos del ecosistema como son la captura de CO<sub>2</sub>, el reciclado de nutrientes o la infiltración de agua. Se considera que las especies de *Quercus* proporcionan una alta diversidad de servicios ecosistémicos, entre los que se destaca el servicio de regulación; secuestro de carbono y mitigación del cambio climático, formación y protección del suelo, mejora de calidad del aire y agua (Marañón et al., 2012; Pérez-Ramos et al., 2014). En este contexto los objetivos de este trabajo han sido, primero, analizar el efecto de la morfología de la carrasca (altura, el área que ocupa, el número de tallos y la biomasa de rebrotes) sobre el estado de la misma (presencia/ausencia de efectos de la "seca") y segundo, estudiar el posible efecto de la morfología y el estado de las carrascas sobre la riqueza de especies de plantas y otros

atributos del ecosistema tales como biomasa y abundancia vegetal, carbono orgánico (CO) del suelo, capacidad de almacenamiento de agua, reciclado de nutrientes y resistencia a la erosión.

## METODOLOGÍA

### Especie

La carrasca (*Quercus rotundifolia* Lam.) corresponde a una especie esclerófila característica del bosque Mediterráneo, gracias a su adaptación a las condiciones climáticas Mediterráneas en las que coinciden periodos más secos con los de altas temperaturas. Muestra una amplia distribución en la Península Ibérica, siendo la especie forestal que más territorio ocupa. Es principalmente conocida por sus frutos, las bellotas, alimento de gran poder nutritivo y muy apreciado por muchas especies forestales. Se encuentra formando dehesas o de forma natural junto a especies como el durillo (*Viburnum tinus*) y la jara (*Cistus albidus*). También, la podemos observar en zonas más húmedas junto a especies de carácter caducifolio como el Arce (*Acer opalus*) y Fresno (*Fraxinus ornus*), formando parte del bosque mixto Mediterráneo (ej.: P.N del Carrascal de la Font Roja). Su morfología varía ampliamente entre poblaciones e individuos, desde portes arbóreos a arbustivos de distintos tamaños, número de tallos y densidades foliares. Estos cambios se deben tanto a las condiciones ambientales (ej.: periodos de sequía y fuegos) como al manejo humano (ej.: extracción de leña para elaboración del carbón) que hayan sufrido a lo largo del tiempo.

### Área de estudio y diseño experimental

El estudio se realizó en el Parque Natural del Carrascal de la Font Roja (Alcoy, Alicante). Las condiciones climáticas son típicamente mediterráneas con influencia continental, donde los meses de altas temperaturas coinciden con los meses de menor precipitación. En la solana de la Sierra del Menejador (elevación montañosa orientada de suroeste a noreste y altura máxima de 1352 m.s.n.m.) se seleccionaron 43 carrascas dispersas en una matriz arbustiva, que ocuparon un área más o menos de 30 Ha (38°39'25"N 0°33'12"W; Figura 1).

Para la selección de las carrascas se tuvo en cuenta tanto la variabilidad morfológica como el estado de las mismas. Se intentó abarcar el mayor rango posible de las siguientes variables morfológicas: altura, área del dosel, número de tallos y biomasa de rebrotes. El área del dosel se calculó mediante la fórmula de la elipse a partir de los valores de diámetros mayor y menor de cada carrasca. La biomasa media de rebrotes por carrasca se calculó

mediante la recolección, secado y pesado (80º C en estufa durante 48 horas) de los rebrotes de cuatro muestras de 25 x 25 cm. El estado se evaluó mediante observación de los síntomas de la “seca” (Figura 2), una excesiva defoliación y secado de las ramas apicales se anotaba como carrasca afectada, y mediante el cálculo del índice de área foliar (LAI; área de las hojas/área del suelo).



**Figura 1.** Foto aérea de la zona de estudio. Se muestra las carrascas sanas marcadas en verde y en amarillo las carrascas afectadas por la “seca”. Localización: 38°39'25"N 0°33'12"W. Autor: David Fuentes ([www.ecodrone.com](http://www.ecodrone.com)).



**Figura 2.** Toma de muestras debajo de una carrasca afectada por la “seca”. Autor: Universidad de Alicante.

Se comprobó, posteriormente, que el LAI estaba relacionado significativamente con la clasificación del estado considerado; valores menores de LAI correspondieron a carrascas con síntomas de la enfermedad y viceversa (ver en apartado de resultados). Por tanto, el LAI se utilizó como variable representativa del estado.

Los atributos del ecosistema que se seleccionaron para el estudio del efecto de la morfología y estado de las carrascas fueron: riqueza de especies de plantas, biomasa y abundancia vegetal, carbono orgánico (CO) del suelo, capacidad de almacenamiento de agua, reciclado de nutrientes y resistencia a la erosión. Para el cálculo de la riqueza de especies se registraron todas las especies de plantas presentes bajo el dosel. Sin embargo, para la obtención de los valores de las demás variables se seleccionaron aleatoriamente sólo cuatro cuadrados de 25 cm de lado, calculando posteriormente un valor medio para cada variable por carrasca. La abundancia se obtuvo mediante el porcentaje de cobertura vegetal y los valores de biomasa mediante la extracción de la materia vegetal y posterior, secado (80° C en estufa durante 48 horas) y pesado en laboratorio. El CO del suelo se calculó mediante el método Walkley-Black en muestras de 0-7,5 cm superficiales del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua, reciclado de nutrientes y resistencia a la erosión mediante el método Landscape Functional Analysis (LFA; Tongway and Hindley, 2004).

#### Análisis estadístico

Para estudiar si la morfología de la carrasca actúa como un factor influyente en la aparición de la "seca" se realizaron regresiones lineales múltiples, en los que las variables de morfología (altura, área del dosel, número de tallos y biomasa media de rebrotes) fueron consideradas como variables explicativas y el LAI como variable de respuesta. Se comprobó el cumplimiento de las asunciones de los modelos y se transformaron los datos en los casos necesarios. Previo a este análisis se comprobó que el LAI respondía frente al estado de las carrascas

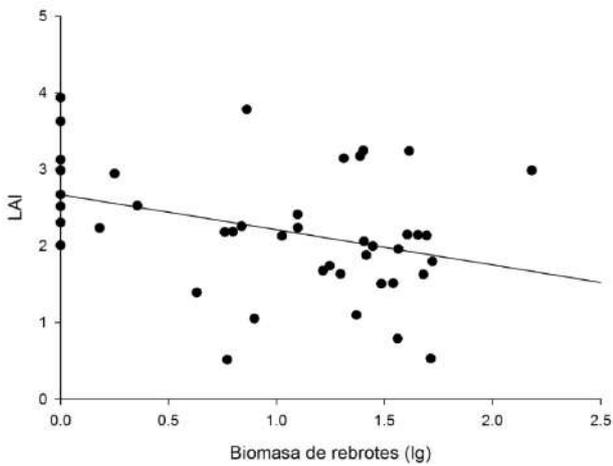
mediante un modelo lineal (lm; ANOVA de un factor) y se estudiaron las correlaciones entre las variables morfológicas, mediante el estadístico *Rho* de Spearman, para evitar errores de multicolinealidad (se descartaron aquellas variables con correlaciones mayores a 0,7).

El efecto de la morfología y el estado de la carrasca sobre los atributos del ecosistema de estudio (riqueza, abundancia, biomasa, CO, capacidad de almacenamiento de agua, reciclado de nutrientes y resistencia a la erosión), también se analizó mediante regresiones lineales múltiples. En este caso las variables explicativas correspondieron tanto a la morfología como el estado de la carrasca (LAI; ver apartado de resultados). Se comprobó el cumplimiento de las asunciones de los modelos y se transformaron los datos en los casos necesarios. Para evitar errores de multicolinealidad, se tuvieron en cuenta los resultados del análisis anterior.

## **RESULTADOS**

El LAI pudo ser considerado como variable representativa del estado; carrascas con síntomas de la enfermedad mostraron valores menores de LAI y viceversa (Anova de un factor;  $F_{1,41}=12.63$ ,  $p<0.001$ ). En cuanto a los resultados del análisis de las correlaciones entre variables morfológicas (altura, área, número de tallos y biomasa de rebrotes) se obtuvo que el área de las carrascas estaba correlacionada positivamente con el número de tallos ( $Rho$  de Spearman=0.7;  $p<0.001$ ). Por tanto, el área se excluyó en los análisis posteriores para evitar errores de multicolinealidad.

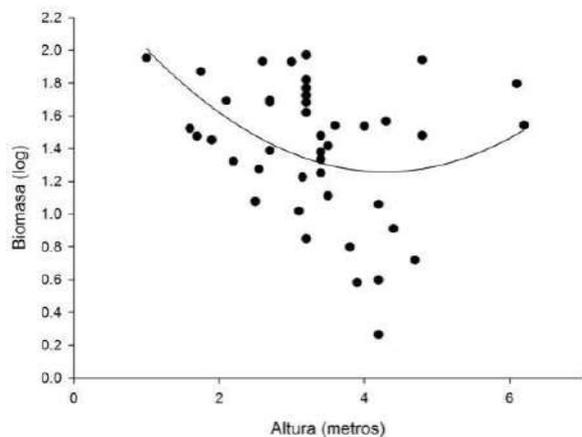
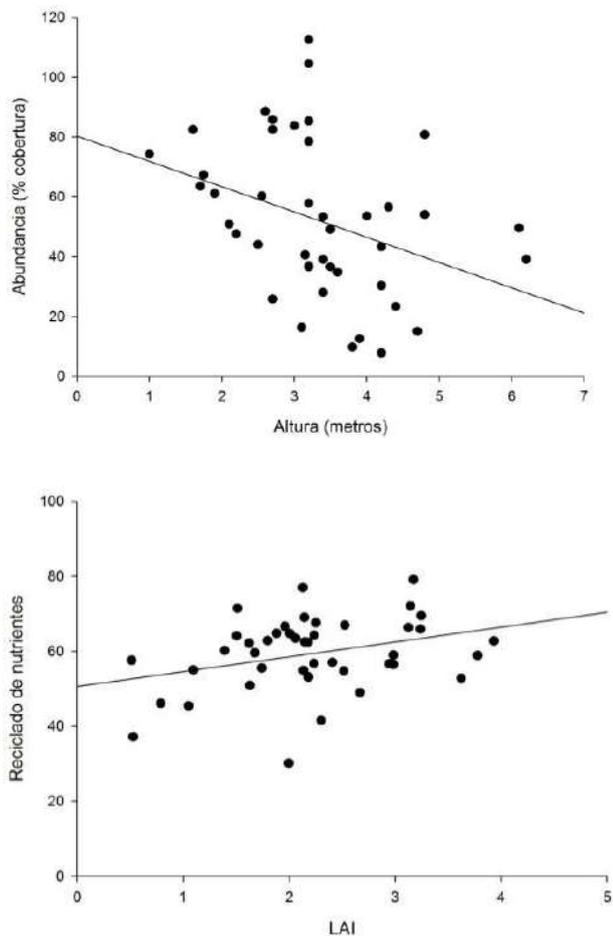
Los resultados del análisis de la relación de la morfología y el estado de las carrascas, mostraron que las carrascas más afectadas por la "seca" presentaban mayor biomasa de rebrotes (lm;  $F_{1,41}=4.813$ ;  $p=0.033$ . Gráfica 1). Por consiguiente, la biomasa de rebrotes no se pudo incluir en los modelos posteriores, en los que se consideraron la morfología y el estado como variables explicativas y así evitar errores de multicolinealidad.



**Gráfica 1.** Relación del estado de las carrascas (LAI; índice de área foliar) con la biomasa de rebrotes ( $F_{1,41}=4.813$  y  $p=0.033$ ).

En cuanto a los resultados de la influencia de la morfología (altura y número de tallos) y el estado sobre determinados atributos del ecosistema se obtuvieron diferentes efectos dependiendo de dichos atributos. Las carrascas con mayor altura presentaron menor abundancia y biomasa vegetal (Abundancia-Im;  $F_{2,40}=4.25$ ;  $p=0.021$ ; Gráfica 2A.

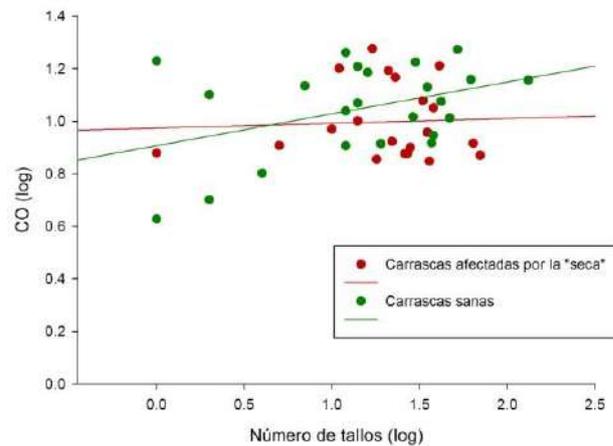
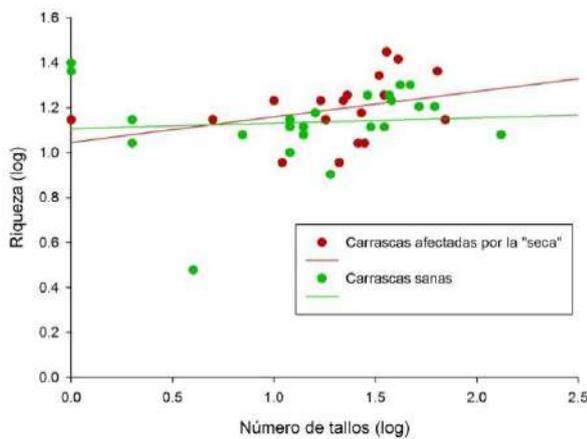
Biomasa-Im;  $F_{2,40}=3.763$ ;  $p=0.031$ ; Gráfica 2B). Un mejor estado de la carrasca se correlacionó con una mayor capacidad de almacenamiento de agua (Im;  $F_{2,40}=3.633$ ;  $p=0.034$ ; Gráfica 2C) y un mayor reciclado de nutrientes (Im;  $F_{1,41}=3.328$ ;  $p=0.07$ ; Gráfica 2D).



**Gráfica 2.** Efectos significativos de la morfología y estado de la carrasca (LAI; índice de área foliar) sobre determinados atributos del ecosistema: Abundancia vegetal (A;  $F_{2,40}=4.25$  y  $p=0.021$ ), biomasa vegetal (B;  $F_{2,40}=3.763$  y  $p=0.031$ ), capacidad de infiltración de agua en el suelo (C;  $F_{2,40}=3.633$  y  $p=0.034$ ) y reciclado de nutrientes (D;  $F_{1,41}=3.328$  y  $p=0.07$ ).

En cuanto a la riqueza y el CO del suelo se obtuvo una interacción significativa entre el estado y el número de tallos por carrasca (Riqueza-Im;  $F_{3,39}=4.127$ ;  $p=0.01$ . CO-Im;  $F_{3,39}=2.956$ ;  $p=0.04$ ). Se observó que la riqueza vegetal tiende a aumentar en las carrascas que presentan síntomas de la enfermedad y poseen un mayor número de tallos

(Gráfica 3A). Por el contrario, la tendencia que se observa en las carrascas sanas de aumentar el CO de suelo conforme aumenta el número de tallos, se atenúa significativamente cuando se ven afectadas por la "seca" (Gráfica 3B).



**Gráfica 3.** Efectos significativos de la morfología y el estado de la carrasca sobre determinados atributos del ecosistema: Riqueza de especies de plantas (A;  $F_{3,39}=4.127$  y  $p=0.01$ ) y carbono orgánico del suelo (CO) (B;  $F_{3,39}=2.956$  y  $p=0.04$ ).

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio mostraron que no hubo un efecto claro de la estructura morfológica de las carrascas sobre su estado (manifestación de síntomas de la "seca"). En cuanto a la influencia del estado y la morfología sobre determinados atributos del ecosistema, se observó un efecto negativo de la altura sobre el desarrollo vegetal bajo su dosel y un efecto también negativo de la enfermedad sobre la capacidad de almacenamiento de agua y reciclado de nutrientes en el suelo. Además, la riqueza de especies y el carbono orgánico del suelo se vieron afectados de diferente manera según el estado y la estructura de la carrasca.

Dentro de los múltiples factores que intervienen en la aparición de la enfermedad de la "seca" (IPROCOR, 2016), los factores de predisposición son aquellos relacionados con la situación del bosque

como por ejemplo el envejecimiento del árbol (Montoya & Mesón, 1993; Carrasco et al, 2009). Por ello, se consideró que estudiar la morfología de las carrascas como factor influyente en la aparición de la enfermedad era interesante. Nuestros resultados mostraron que tanto la altura, el área del dosel, como el número de tallos de las carrascas no estaban relacionados con la aparición de los síntomas de la "seca". Al contrario que la biomasa de rebrotes, la cual se relacionó positivamente con las carrascas más afectadas. Según Montoya y Mesón (1994) cuando se poda menos de lo que se precisa, el arbolado se envejece y se debilita; los rebrotes que se dejan de recepar son menos longevos que los de semilla y la acumulación de ramas paraliza el crecimiento del arbolado siendo más vulnerables a las enfermedades. Por tanto, nuestra hipótesis de partida en la que los individuos de mayor porte y mayor número de tallos (y por consiguiente, más viejos) debían mostrar una mayor afectación, no pudo ser corroborada. Sin embargo, en

otros estudios sí se observó que los individuos de mayor edad eran más vulnerables a la enfermedad (Moreira y Martins, 2005; Corral et. al, 2018). Estos resultados contradictorios reafirman la idea de que la enfermedad de la “seca” puede aparecer sin que tengan que darse todos los factores simultáneamente (Montoya y Mesón, 1993). Todo apunta que en nuestro estudio fueron otros factores como las características microambientales (proximidad a cursos fluviales, índice de humedad topográfico, etc.) y la presencia de determinados patógenos (hongos de raíz, bacterias e incluso insectos), los causantes de promover la enfermedad (Montoya y Mesón, 1994; Luque y Álvarez, 1997; López et al., 1996; López-Pantoja et al., 2004; Corral et al., 2018). En cuanto a la relación observada entre una mayor biomasa de rebrotes y la presencia de síntomas de la enfermedad parece indicar que esta variable es más una consecuencia que un factor o causa. Se podría pensar que la presencia de una alta biomasa de rebrotes fue debida al podado y posterior abandono de las carrascas y que estas estructuras fueran más susceptibles a la enfermedad. Sin embargo, la biomasa de rebrotes no presentó una alta correlación con el número de tallos. A esto se suma que en otros estudios se describe la abundante emisión de brotes adventicios (chupones) como una consecuencia de la enfermedad (Sánchez et al., 2003; Navarro, 2000; Carrasco et al., 2009).

Sin embargo, sí se detectaron efectos tanto del estado de la carrasca como de su morfología (altura, área y el número de tallos) sobre determinados atributos del ecosistema. Se observó que las carrascas con mayor altura presentaron menor abundancia y biomasa vegetal bajo su dosel. Esto pudo ser debido a cuestiones de competencia entre la carrasca y otras especies, o por la menor incidencia lumínica bajo su dosel. Sin embargo, estos atributos del ecosistema no se vieron afectados por la enfermedad de la “seca”. Cabría esperar que las carrascas con síntomas de la “seca” mostraran sobre su vegetación circundante efectos tanto de los brotes adventicios como de los agentes patógenos, reduciendo su crecimiento y por tanto, su abundancia y biomasa. No obstante, los atributos del suelo sí se correlacionaron con la presencia de la “seca”; las carrascas más enfermas estaban

vinculadas a suelos con una menor capacidad de almacenamiento de agua y un menor reciclado de nutrientes en el suelo. Suelos poco profundos y con poca retención de agua favorecen al hongo *Phytophthora cinnamomi* (Sillero, 1999; Navarro y Fernández, 2000), lo que podría explicar la relación entre la “seca” y menores valores de infiltración y reciclado de nutrientes.

Uno de los resultados más interesantes fue que tanto la riqueza de especies como el carbono orgánico del suelo respondieron de diferente manera según el estado y la estructura morfológica de la carrasca. La riqueza vegetal tendió a aumentar en las carrascas que presentaban síntomas de la enfermedad y tenían un mayor número de tallos. Pensamos que esto es debido, principalmente, a una mayor heterogeneidad lumínica presentada por las carrascas con mayor número de tallos que cuando enferman y caen las hojas de sus ramas, provocan aberturas en su dosel. Esta heterogeneidad da lugar a un aumento de heterogeneidad de microambientes, promoviendo la entrada de nuevas especies. La densidad foliar y de ramas de las carrascas procedentes de rebrotes de cepas y/o de renuevos de raíz que han sufrido algún tratamiento selvícola y su posterior abandono, es mucho mayor que la de los brinzales procedentes de semillas (Montoya y Mesón, 1994). Por eso, pensamos que la heterogeneidad lumínica será más acentuada en las carrascas con mayor número de tallos. Por otro lado, se observó que la tendencia a aumentar el CO de suelo conforme aumenta el número de tallos en las carrascas sanas, se atenúa significativamente cuando se ven afectadas por la “seca”. También, pensamos que el aporte en el suelo de hojas y ramas en las carrascas con mayor número de tallos es debido al exceso de espesura asociado a este tipo de morfologías. Por tanto, una vez pasada la defoliación masiva por un evento de “seca”, las carrascas con menos densidad foliar aportarán mucha menos cantidad de materia orgánica al suelo.

## **CONCLUSIONES**

Nuestros resultados muestran que la estructura morfológica de las carrascas no actúa como factor de predisposición de la enfermedad de la "seca"; las carrascas con mayor número de tallos, resultado de algún tratamiento selvícola previo, no son más susceptibles a la enfermedad. Por otro lado, se dan diferentes efectos de la morfología y el estado de las carrascas sobre los atributos del ecosistema estudiado. Las carrascas con síntomas de la enfermedad se relacionan con suelos que muestran menor capacidad de captación de agua y reciclado de nutrientes. Además, el efecto de la enfermedad varía según la cantidad de tallos de las carrascas sobre la riqueza de especies vegetales bajo su dosel y el CO del suelo; la enfermedad en individuos con mayor número de tallos promueve un aumento de la diversidad de especies y una disminución del CO del suelo. Sin embargo, el estado no afecta a la abundancia y a la biomasa vegetal, pero sí les influye la altura (y por ende su edad); su aumento suscita un menor desarrollo de la cobertura vegetal bajo su dosel.

Por tanto, los efectos de la carrasca sobre su entorno son diversos y dependen de factores que se pueden modificar mediante el manejo (como su morfología) o su estado de salud. Desde un punto de vista de la conservación y gestión forestal, estos resultados muestran que las respuestas del ecosistema frente a estos cambios de la estructura morfológica de la carrasca y del estado de la misma pueden llegar a ser predecibles, aportando una valiosa información para la toma de decisiones en las posibles actuaciones forestales.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, del Gobierno de España, mediante el proyecto I+D+I «Retos investigación» del programa estatal de I+D+I orientada a los retos de la sociedad "Identificando las consecuencias funcionales de cambios en la biodiversidad a varias escalas espaciales" (FOBIASS; RTI2018-098895-a-i00) y la ayuda Ramón y Cajal (RyC-2016-20604). Agradecer al director (Salvador Palop) y personal técnico (Jordi Acosta y Pep Cantó) del P.N. del Carrascal de la Font Roja por su apoyo y colaboración en el estudio, al personal técnico de la Universidad de Alicante por haber facilitado el trabajo en el laboratorio (Fran Barrero, Silvia Ibars y José Huesca) y a los alumnos tanto de prácticas como de TFG de la Universidad de Alicante por haber colaborado en la recogida y procesado de muestras (Alba Garrapiso, Francisco José Romero, Rocío Montes y Pablo García).

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias, A. y Del Pozo, J.D.** (1997). Informe del Servicio de Sanidad Vegetal sobre la “seca” de la encina y el alcornoque en Extremadura. Reunión de coordinación sobre el decaimiento de las quercíneas. Informe INIA.
- Biosca, E.G.; González, R.; López-López, M.J.; Soria, S.; Monton, C.; Pérez-Laorga, E.; López, M.M.** (2003). Isolation and characterization of *Brenneria quercina*, causal agent for bark canker and drippy nut of *Quercus* spp. in Spain. *Phytopathology* 35: 485-492.
- Brasier, C.M.; Robredo, F.; Ferraz, J.F.P.** (1993). Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. *Plant Pathology* 42: 140-145.
- Brasier, C.M.** (1996). *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in Southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Annales des Sciences Forestieres* 53: 347-358.
- Caetano, P.; Sánchez, J.E.; Sánchez, M.E.; Trapero, A.** (2010). Podredumbre radical de la encina y el alcornoque. Córdoba: Grupo de Patología Agroforestal de la Universidad de Córdoba. Consejería de medio Ambiente.
- Carrasco, A. y cols.** (2009). Procesos de Decaimiento Forestal (la Seca), Situación del Conocimiento. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 112 pp. Córdoba.
- Cobos, J. M.; Montoya, R.; Tuset, J.J.** (1993). New damage to *Quercus* woodlands in Spain. Preliminary evaluation of the possible implication of *Phytophthora cinnamomi*. En: Luisi N., Lerario, P. y Vannini, A. (Eds), *Recent Advances in Studies on Oak Decline*, pp. 163-170. Putignano, Tipolitografía Radio, Brindisi.
- Gallego, F. J.; Pérez de Algaba, A.; Fernández-Escobar, R.** (1999). Etiology of oak decline in Spain. *European Journal of Plant Pathology* 29: 17-27.
- Garnica, R y Robles, L.** (1991). Un método para la clasificación fisionómica de las encinas y los encinares. *Ecología* 5: 173-180.
- IPROCOR.** (2016). Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura. Qué es la seca. Mérida.
- Leco Berrocal, F.** (1994). La seca de los encinares y alcornoques de Extremadura ¿Cuestión física o humana? *Aegypius* 12: 23-30.
- López, M.M.; García, M.; Roselló, M.; Morente, C.; Orellana, N.; Ferrer, A.; López, F.; Soria, S.; López, M.J.** (1996). Primera identificación en España de *Erwinia chrysanthemi* en patata, *E. quercina* en encina y rebollo, *E. rubrifaciens* en nogal y *Rhodococcus fascians* en Coliflor. En: Resúmenes del VIII Congreso de la SEF, pp. 122. SEF. Córdoba.
- López-Pantoja, G.; Domínguez, L.; Sánchez-Osorio, I.; Tapias, R.; Cremades, D.; Paramio A.; Alesso, P.** (2004). Population ecology of *Xylophagous beteles* (Coleoptera: Cerambycidae) in Mediterranean *Quercus* forest (Southwest of Iberian Peninsula). Incidence on oak trees health (*Quercus ilex* L. ssp *ballota* and *Quercus suber* L.). *Medecos*. Grecia.
- Luque, J. y Álvarez, I.** (1997). Patogenicidad de los hongos aislados del alcornoque en Cataluña. En: II Congreso Forestal Español – I Congreso Forestal Hispano-Luso, Tomo V, pp. 423-430. SECF. Madrid.
- Marañón, T.; Padilla Díaz, C.M.; Pérez-Ramos, I.M.; Villar, R.** (2014). Tendencias en la investigación sobre ecología y gestión de las especies de *Quercus*. *Ecosistemas* 23(2): 124-129. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.16.
- Meson, M.L y Montoya, J.M.** (1993). Factores desencadenantes de la seca de los *Quercus* en España. *Quercus* 92: 30-31.
- Montoya, J.M. y Mesón, M.L.** (1993). Mortandad de encinas y alcornoques: la “seca de los *Quercus*”. Núm. 11/93. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Montoya, J. M. y Mesón, M.** (1994). Los factores catalizadores de la “seca de los *Quercus*”. *Ecología* 8: 185-191.

- Montoya, J.M y Meson, M.L.** (1997). Los factores ejecutores de la seca de los *Quercus*. Madrid, Boletín informativo del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos forestales.
- Moreira, A.C. y Martins, J.M.S.** (2005). Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *Forest Pathology* 35: 145-162.
- Navarro, R.M. y Fernández, P.** (2000). El síndrome de la Seca del encinar. Propuesta de solución para el Valle de los Pedroches. Ed. Fundación Ricardo Delgado Vizcaíno, Pozoblanco (Córdoba). 172 pp.
- Pérez-Ramos, I.M.; Villar, R.; Marañón, T.** (2014). El fascinante mundo de los *Quercus*: desde la biología molecular hasta la ecología de comunidades. *Ecosistemas* 23(2): 1-4. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.01
- Rivas-Martínez, S.** (1987). Memoria y Mapas de las Series de Vegetación de España. M. A. P.A.-I. C. O. N. A.
- Rodríguez-Molina, M.C.; Torres-Vila, L.M.; Blanco, A.; Palo, E.J.; Torres-Álvarez, E.** (2002). Viability of holm and cork oak seedlings from acorns sown in soils naturally infected with *Phytophthora cinnamomi*. *Forest Pathology* 32: 365-372.
- Rodríguez- Molina, M.C.; Tello Marquina, J.C.; Torres-Vila, L.M.** (2003). El *Phytophthora cinnamomi*, implicado en la seca. Trofeo, p 42.
- Sánchez, M.E.; Navarro, R.M.; Trapero, A.; Fernández, P.** (2000). La seca de encinas y alcornoques: una visión histórica. *Montes* 62: 29-39.
- Sánchez, M.E.; Sánchez, J.E.; Navarro, R.M.; Fernández, P.; Trapero, A.** (2003). Incidencia de la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en masas de *Quercus* en Andalucía. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 29: 87-108.
- Tongway, D.J. y Hindley, N.** (2004). *Landscape Function Analysis: Procedures for Monitoring and Assessing Landscapes*. CSIRO Publishing, Brisbane, p. 82.
- Tuset, J.J.; Hinarejos, C.; Mira, J.L.; Cobos, J.M.** (1996). Implicación de *Phytophthora cinnamomi* Rands en la enfermedad de la seca en encinas y alcornoques. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 22: 491-499.
- Tuset J.J. y Sánchez, G.** (2004) *La seca: El decaimiento de encinas, alcornoques y otros Quercus en España*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid.