

Cómo citar este artículo:

Jara Domínguez Begines *et al.* “Efectos de la seca del alcornoque en los organismos del suelo: implicaciones para el ciclo de nutrientes en el Parque Natural Los Alcornocales”. *Almoraima. Revista de Estudios Campogibraltareños*, 49, diciembre 2018. Algeciras. Instituto de Estudios Campogibraltareños, pp. 87-96.

Recibido: septiembre de 2017

Aceptado: octubre de 2017

EFECTOS DE LA SECA DEL ALCORNOQUE EN LOS ORGANISMOS DEL SUELO: IMPLICACIONES PARA EL CICLO DE NUTRIENTES EN EL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES

Jara Domínguez Begines / Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC).

Gerlinde de Deyn / Universidad de Wageningen, Países Bajos.

Luis V. García Fernández / Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC).

Lorena Gómez Aparicio / Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC).

RESUMEN

Las especies perennes más importantes del género *Quercus* en la península ibérica (alcornoque y encina) están sufriendo un severo decaimiento y muerte (conocido como “la seca”) debido al efecto interactivo de distintos factores de cambio global como los patógenos exóticos (principalmente *Phytophthora cinnamomi*) y el cambio climático. Este estudio evalúa los efectos de la seca del alcornoque en los organismos del suelo del Parque Natural de Los Alcornocales, utilizando los nematodos como bioindicadores. Los organismos edáficos son elementos primordiales para la descomposición, mineralización, ciclo de nutrientes y fertilidad del suelo y, por tanto, su análisis es fundamental para evaluar el alcance de los efectos de la seca en el ecosistema. Los resultados de nuestro trabajo sugieren que la seca del alcornoque produce cambios importantes en los organismos del suelo, dando lugar a comunidades menos estables y más susceptibles a perturbaciones como sequías o incendios. Estos cambios podrían a su vez afectar a la descomposición bacteriana y fúngica de la materia orgánica y al ciclo de nutrientes que, tras la muerte de los alcornoques, se verían ralentizados generando suelos menos fértiles. En conjunto, nuestros resultados sugieren que la seca del alcornoque puede producir un descenso de los nutrientes del suelo, limitando la recuperación de las especies vegetales en estas áreas degradadas del Parque Natural Los Alcornocales.

Palabras clave: alcornoque, seca, red trófica del suelo, nematodos, bioindicadores.

ABSTRACT

Evergreen *Quercus* (cork oak and holm oak) in the Iberian Peninsula are suffering a severe decline and mortality mainly produced by the interactive effects of global change drivers as exotic pathogens (mainly *Phytophthora cinnamomi*) and climatic change. This work evaluates the effects of cork oak decline on soil organisms in Los Alcornocales Natural Park using nematodes as bioindicators. Soil organisms play an important role in for soil organic decomposition, mineralization and nutrient cycling. Therefore, its analysis is essential to evaluate the extent of the effect of cork oak decline on the ecosystem. Our results suggest that cork oak decline produces important changes in the soil organisms. Soil community would become more susceptible to disturbances as drought and fires. Moreover, these changes would also modify bacterial and fungal decomposition, generating slower organic matter decomposition and cycle of nutrients after the dead of the trees. Overall, our results suggest that cork oak decline could produce a decrease of soil nutrient availability that would limit the recovery of plant species in these disturbed areas in Los Alcornocales Natural Park.

Key words: cork oak, oak decline, soil food web, nematodes, bioindicators.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La seca del alcornoque

Los alcornoques –*Quercus suber* L.– y encinas –*Q. ilex* L.– de la península ibérica están sufriendo un severo decaimiento desde los años 80 conocido como “la seca”, que produce la defoliación y muerte de los individuos adultos. Este fenómeno está provocando una importante reducción del número de ejemplares de estas especies en determinadas zonas, generando grandes perturbaciones en el entorno natural y la modificación del paisaje (Tuset y Sánchez, 2004). La seca es una enfermedad de etiología compleja producida por la interacción de distintos factores



Figura 1. Alcornoque sano, defoliado y muerto. Fotografías: Lorena Gómez Aparicio y Jara Domínguez Begines.

1.2. Efectos de la seca en los organismos del suelo y uso de los nematodos como bioindicadores

El estudio de los organismos del suelo es fundamental para evaluar el alcance de los efectos de la seca del alcornoque en el ecosistema. Los organismos edáficos son primordiales para la descomposición de la materia orgánica y la mineralización de nutrientes –liberación de compuestos inorgánicos de fácil absorción por las plantas– y por tanto juegan un papel muy importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Nielsen, Wall y Six, 2015). Las redes tróficas –organismos que componen la cadena alimentaria– del suelo son muy complejas, están compuestas por una alta diversidad de organismos muy variados –bacterias, hongos, nematodos, ácaros, colémbolos, etc.– (figura 2) y con diferentes tipos de interacciones entre ellos –competencia, depredación, etc.–. Para evaluar si alguna perturbación –como la seca del alcornoque– está alterando los organismos del suelo y la estabilidad de sus redes tróficas se pueden analizar bioindicadores –indicadores biológicos–. Es el caso de los nematodos, que abarcan todos los grupos tróficos –bacterívoros, fungívoros, herbívoros, predadores y omnívoros– (figura 3) y, por tanto, representan toda la red trófica del suelo (Wilson y Kakouli-Duarte, 2009). Los nematodos son gusanos microscópicos de aproximadamente 1 mm. Son los animales más abundantes del planeta y fáciles de extraer e identificar. Son muy utilizados como bioindicadores en agricultura y ecología, pero nunca se han empleado para evaluar el efecto de la seca del alcornoque en el ecosistema.

El objetivo principal de este estudio es evaluar los efectos de la seca del alcornoque sobre los organismos del suelo en el Parque Natural de Los Alcornocales, utilizando los nematodos como bioindicadores.

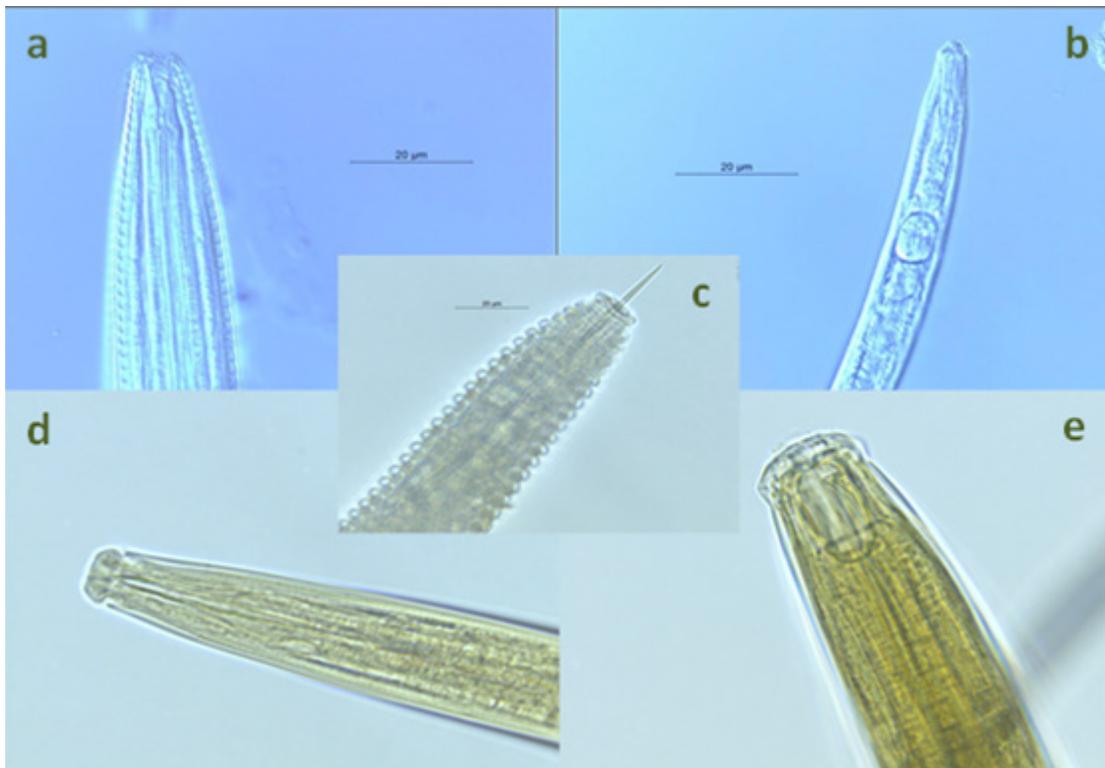


Figura 3. Grupos tróficos de nematodos. a: bacterívoro, b: fungívoro, c: herbívoro, d: omnívoro, e: predador.
Fotografías: Jara Domínguez Begines.



Figura 4. Distribución de las parcelas de estudio en el Campo de Gibraltar. 1: La Ahumada, 2: Comares, 3: Picacho, 4: Jimena.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Este trabajo se realizó en cuatro parcelas del Parque Natural de Los Alcornocales, tres de ellas ubicadas en el Campo de Gibraltar. El clima es mediterráneo sub-húmedo, con una temperatura media anual de 15.7°C y precipitación media anual de 1037 mm (Junta de Andalucía, 2005). El Parque Natural de Los Alcornocales está considerado un *hotspot* de diversidad de especies vegetales en la cuenca mediterránea (Médail y Quézel, 1997) y contiene los mayores bosques de alcornoque en Europa (Junta de Andalucía, 2005).

Nuestro estudio se llevó a cabo en dos tipos de bosque mixto bien diferenciados:

- “Bosque cerrado”, donde el alcornoque coexiste con el quejigo andaluz –*Quercus canariensis*–. Estos bosques tienen una alta cobertura arbórea y los suelos son húmedos y arenosos. Seleccionamos las parcelas “Comares” –término municipal de Algeciras– y “Jimena” –término municipal de Jimena de la Frontera– situadas en el sur y norte del parque natural respectivamente.

- “Bosque abierto”, donde el alcornoque coexiste con el acebuche –*Olea europaea var. sylvestris*–. Estos bosques tienen una menor cobertura arbórea y los suelos son más arcillosos que en el bosque cerrado. Seleccionamos las parcelas “La Ahumada” –término municipal de Tarifa– y “Picacho” –término municipal de Alcalá de los Gazules– situadas en el sur y norte del parque natural respectivamente (figura 4).

2.2. Diseño del muestreo

En las cuatro parcelas –Comares, Jimena, La Ahumada y Picacho– se delimitó un área de muestreo de 50 x 40 metros con 30 puntos de muestreo en cada una separados por 10 metros entre ellos (figura 5). Se mapearon todos los alcornoques adultos en un radio de 15 metros alrededor de cada punto de muestreo. Se anotó el tamaño del árbol –diámetro del tronco a la altura del pecho o dbh de sus siglas en inglés *diameter at breast height*–, el estado de salud –sano, defoliado o muerto– y la distancia del árbol al punto de muestreo.

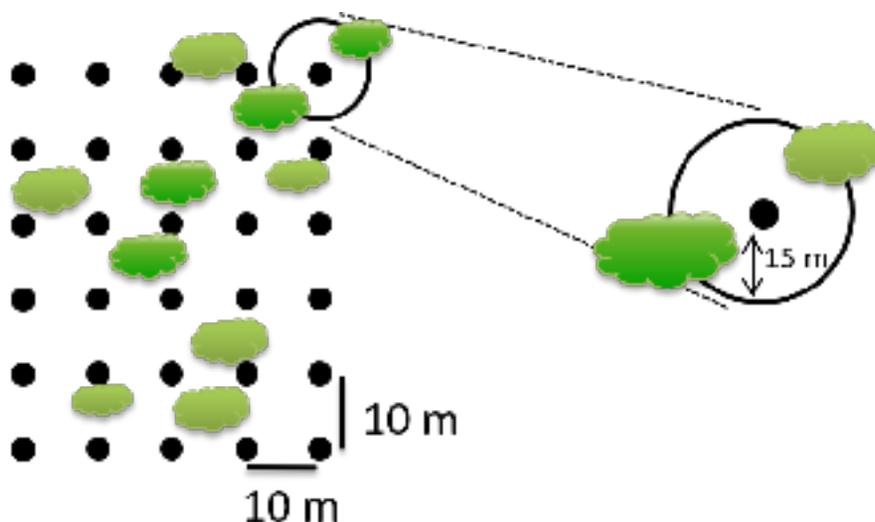


Figura 5. Distribución de los puntos de muestreo en cada parcela de estudio.

2.3. Análisis de los nematodos

En cada punto de muestreo se tomaron muestras de suelo y se mantuvieron a -20°C durante 7 días hasta que se extrajeron los nematodos mediante una técnica de centrifugación-flotación en el laboratorio (Jenkins, 1964). Se identificó la familia, el género, el grupo trófico –bacterívoro, fungívoro, herbívoro, predador u omnívoro– y el grupo cp –código numérico en una escala de 1 a 5 que se asigna a los nematodos en función del estado de sucesión ecológica en la que suele hallarse– de 100 individuos por muestra. Los individuos con menor valor cp son oportunistas y de crecimiento rápido –equivalente a estrategias de la r– y los individuos con mayor cp tienen un crecimiento más lento y menor tasa reproductiva –equivalente a estrategias de la K– (Bongers y Ferris, 1999). Además, calculamos los siguientes índices:

- Ratio F/B: Es la abundancia de nematodos fungívoros dividido por la de bacterívoros. Se utiliza para evaluar si la materia orgánica del suelo es mayoritariamente descompuesta por hongos o por bacterias (Wilson y Kakouli-Duarte, 2009).
- Índice de madurez –MI, de sus siglas en inglés *maturity index*–: es la media ponderada del porcentaje de nematodos en cada grupo cp. Indica el estado de sucesión ecológica en el que se encuentra la comunidad de organismos edáficos. La sucesión ecológica consiste en una serie de cambios progresivos en la composición de organismos de una comunidad ecológica a lo largo del tiempo. Los valores de MI son bajos en sistemas perturbados y altos en sistemas estables (Bongers 1990).
- Índice de estructura –SI, de sus siglas en inglés *structure index*–: es el porcentaje de nematodos típicos de redes tróficas estructuradas –consumidores secundarios y terciarios y código cp mayor de 3–. Valores altos de SI indican estabilidad y resiliencia de la red trófica del suelo ante perturbaciones externas (Ferris, Bongers y de Goede, 2001).

2.4. Análisis estadístico

Evaluamos el efecto del estado de salud –sano, defoliado y muerto– de los alcornoques en los nematodos del suelo mediante modelos estadísticos de vecindad espacialmente explícitos (Canham y Uriarte, 2006). El efecto de los árboles se midió calculando un índice de vecindad –NI, de sus siglas en inglés *Neighborhood Index*–. Dicho índice considera que el efecto de los árboles vecinos –árboles que se encuentran a menos de 15 metros– sobre un determinado suelo es directamente proporcional a su tamaño –dbh– e indirectamente proporcional a su distancia –d– al punto de muestreo.

En los modelos se incluyeron como variables predictoras la parcela –con dos niveles: norte y sur– y los NI calculados para tres categorías de alcornoques: sanos, defoliados y muertos. α y β son parámetros que estiman la intensidad del efecto del tamaño del árbol – α – y la distancia – β –. Los modelos fueron ajustados para cada variable respuesta –abundancia de cada grupo trófico, ratio F/B y los índices de madurez y estructura– y tipo de bosque –bosque cerrado y bosque abierto–. Para comprobar el efecto significativo de la vecindad, se comparó el valor del criterio de información de Akaike –AIC, de sus siglas en inglés *Akaike Information Criterion*– (Burnham y Anderson, 2002) de cada modelo con un modelo que no incluía como variable predictora el índice de vecindad –NI–. Consideramos dos modelos estadísticamente diferentes cuando la diferencia en AIC fue mayor de 10 unidades. Utilizamos la función “*anneal*” y el paquete “*likelihood*” (Murphy, 2012) en el programa R versión 3.3.2 (R core Team, 2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 77.8 % (–7/9–) de los modelos para el bosque cerrado y el 100% (–9/9–) en el bosque abierto indicaron que el estado de salud del alcornoque influye en la comunidad de nematodos del suelo (figura 6).

Los alcornoques defoliados y muertos presentaron una mayor abundancia de nematodos bacterívoros (figura 6a), fungívoros (Figura 6b) y herbívoros (Figura 6c) y una menor abundancia de predadores (figura 6d) y omnívoros (Figura 6e) que los alcornoques sanos, indicando un aumento de los organismos pertenecientes a los niveles tróficos basales –bacterias y hongos descomponedores, herbívoros, etc.– y un descenso de los organismos característicos de los niveles superiores de la red trófica del suelo –ácaros y otros organismos predadores y omnívoros– (Bongers y Ferris, 1999). Estos resultados son típicos de ecosistemas perturbados y reflejan que la seca del alcornoque está alterando significativamente la composición y estructura de las redes tróficas edáficas.

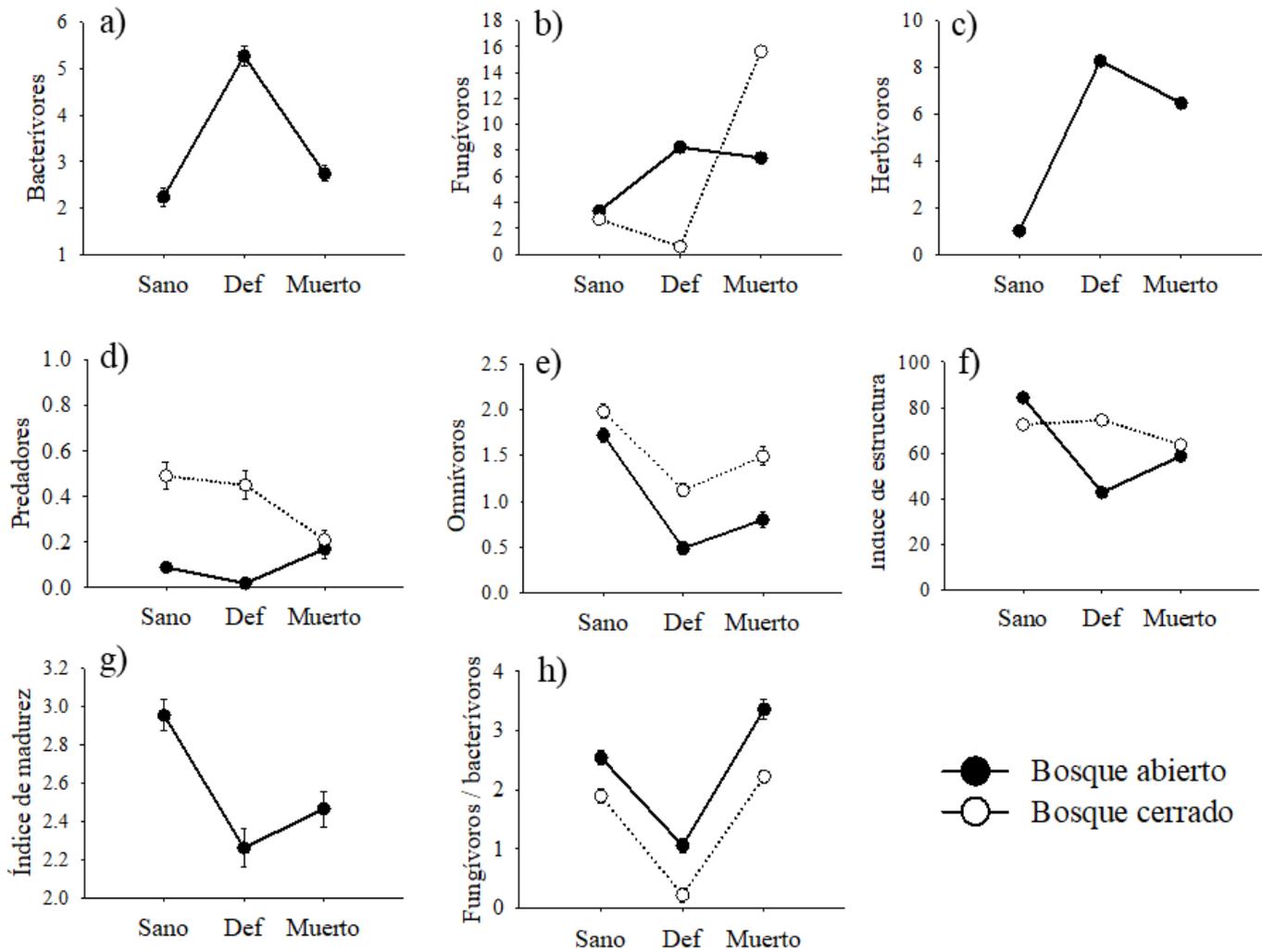


Figura 6. Resultados de los modelos estadísticos en el bosque abierto y el bosque cerrado. Se muestran solo los resultados para los modelos donde el efecto del estado de salud del alcornoque fue significativo. Las figuras representan los valores para NI = 1 (máximo efecto de los árboles vecinos). La abundancia de grupos tróficos (bacterívoros, fungívoros, herbívoros, predadores y omnívoros) indica el número de individuos por 100 gramos de peso de suelo seco. Def: Defoliado.

También detectamos un efecto de la seca del alcornoque en los distintos índices analizados. El índice de madurez –MI– disminuyó bajo alcornocales defoliados y muertos respecto a los sanos (figura 6g), indicando que los nematodos de los grupos cp superiores (3-5) disminuyeron a favor de los nematodos de los grupos cp inferiores –1-2–. Estos resultados sugieren que la seca del alcornoque está cambiando el estadio de sucesión ecológica de la comunidad de organismos del suelo hacia niveles típicos de sistemas perturbados (Bongers 1990). Asimismo, también se produjo un descenso de los valores del índice de estructura –SI– (figura 6f) indicando que las interacciones tróficas entre los organismos edáficos tenderían a disminuir, reduciendo por tanto la estabilidad y resiliencia de la red trófica ante posibles perturbaciones (Ferris, Bongers y de Goede, 2001). Se prevé que los ecosistemas mediterráneos como el del Parque Natural de Los Alcornocales se verán especialmente afectados por el cambio climático (IPPC, 2007; Giorgi y Lionello 2008), por tanto un aumento de las perturbaciones asociadas –sequía, incendios, etc.– en la zona perjudicarían gravemente estas comunidades edáficas menos estables.

Otro resultado interesante se refiere al efecto de la seca en la ratio fungívoros / bacterívoros –F/B–. Este resultado sugiere que el impacto de la seca sobre la descomposición de materia orgánica podría variar durante el proceso de defoliación y muerte del árbol –sano → defoliado → muerto–. Bajo alcornocales defoliados, la descomposición tendió a ser predominantemente bacteriana –menor ratio fungívoros / bacterívoros– que en alcornocales sanos (figura 6h) (Ruess 2003). En estos árboles hay una gran cantidad de raíces muertas y hojarasca que proporcionan materia orgánica fácil de descomponer para las bacterias. En cambio, bajo alcornocales muertos el ratio fungívoros / bacterívoros aumentó respecto a alcornocales sanos y defoliados (figura 6h) indicando una descomposición predominantemente fúngica. Esto podría ser debido a que tras la muerte del árbol y el agotamiento de las moléculas lábiles descompuestas por las bacterias actuarían los hongos. Los hongos están especializados en descomponer compuestos orgánicos más recalcitrantes y difíciles de degradar, como los que abundan en la madera, con un alto valor de la razón C:N y elevado contenido en lignina (Strickland y Rousk, 2010). La descomposición fúngica se caracteriza por ser más lenta que la bacteriana (van der Heijden, Bardgett y van Straalen, 2008) y, por tanto, la muerte de los alcornocales podría provocar una ralentización de la mineralización (Ferris y Matute, 2003). Una menor tasa de mineralización disminuiría los niveles de nutrientes del suelo disponibles para las plantas, lo que perjudicaría el crecimiento de las plantas en este parque natural.

Nuestros resultados demuestran, por primera vez, que la seca del alcornoque produce cambios importantes en los microorganismos del suelo, dando lugar a comunidades menos estables y más susceptibles a perturbaciones como sequías o incendios. Estos cambios se traducirían a su vez en importantes modificaciones de la descomposición bacteriana y fúngica de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Tras la muerte de los alcornocales dichos procesos se verían ralentizados generando suelos menos fértiles que limitarían la recuperación de las comunidades vegetales en estas áreas degradadas del Parque Natural de Los Alcornocales.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos al director del Parque Natural Los Alcornocales su apoyo para realizar el trabajo de campo. También queremos agradecer especialmente a los estudiantes Francisco Alcocer, Luis M. Gallego, Feliciano Brioso y Vanesa Salvador por su ayuda en el muestreo y extracción de nematodos. Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Economía y competitividad (MICINN) para el proyecto CGL2011-26877 y la beca FPI-MEC (BES- 2012-055113).

BIBLIOGRAFÍA

- BURNHAM, Kenneth y ANDERSON, David (2002). *Model Selection and Multimodel Inference. A Practical Information–Theoretic Approach*. 2ª Edición. Springer, New York.
- TUSET, Juan José y SÁNCHEZ Gerardo (2004). *La Seca: el decaimiento de encinas, alcornoques y otros Quercus en España*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- WILSON, Michael y KAKOULI-DUARTE, Thomae (2009). *Nematodes as Environmental Bioindicators*. CABI, Wallingford, UK.
- CORCOBADO, Tamara, CUBERA, Elena, MORENO, Gerardo y SOLLA, Alejandro (2013). “*Quercus ilex* forests are influenced by annual variations in water table, soil water deficit and fine root loss caused by *Phytophthora cinnamomi*”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169, pp. 92–99.
- BONGERS, Tom (1990). “The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition”. *Oecologia*, 83, pp. 17–19.
- BONGERS, Tom y FERRIS, Howard (1999). “Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring”. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(6), pp. 224–28.
- CAMILO-ALVES, Constança de Sampaio e Paiva, ESTEVES DA CLARA, Maria Ivone y CABRAL DE ALMEIDA RIBEIRO, Nuno Manuel (2013). “Decline of Mediterranean oak trees and its association with *Phytophthora cinnamomi*: a review”. *European Journal of Forest Research*, 132, pp. 411–32.
- CANHAM, Charles y URIARTE, María (2006). “Analysis of neighborhood dynamics of forest ecosystems using likelihood methods and modeling”. *Ecological applications : a publication of the Ecological Society of America*, 16(1), pp. 62–73.
- FERRIS, Howard, BONGERS Tom y DE GOEDE Ron (2001). “A Framework for Soil Food Web Diagnostics: Extension of the Nematode Faunal Analysis Concept”. *Applied Soil Ecology*, 18(1), pp. 13–29.
- FERRIS, Howard y MATUTE Martin (2003). “Structural and Functional Succession in the Nematode Fauna of a Soil Food Web”. *Applied Soil Ecology* 23(2): 93–110.
- FERRIS, Howard, and BONGERS, Tom (2006). “Nematode Indicators of Organic Enrichment”. *Journal of nematology*, 38(1), pp. 3–12.
- GIORGI, Filippo y LIONELLO, (2008). “Climate change projections for the mediterranean region”. *Global and Planetary Change*, 63(2–3), pp. 90–104.
- GÓMEZ-APARICIO, Lorena, IBÁÑEZ, Beatriz, SERRANO, María Socorro, DE VITA, Paolo, ÁVILA, José Manuel, PÉREZ-RAMOS, Ignacio, GARCÍA, Luis Ventura, SÁNCHEZ, María Esperanza y MARAÑÓN, Teodoro (2012). “Spatial Patterns of Soil Pathogens in Declining Mediterranean Forests: Implications for Tree Species Regeneration”. *The New phytologist*, 194(4), pp. 1014–24.
- VAN DER HEIJDEN, Marcel, BARDGETT, Richard y VAN STRAALLEN Nico (2008). “The Unseen Majority: Soil Microbes as Drivers of Plant Diversity and Productivity in Terrestrial Ecosystems”. *Ecology letters*, 11(3), pp. 296–310.
- IBÁÑEZ, Beatriz, ÁVILA, José Manuel, GÓMEZ-APARICIO, Lorena, POZUELOS, Ana, GUTIÉRREZ, Eduardo, GARCÍA, Luis Ventura, MARAÑÓN, Teodoro (2012). “Dinámicas de vecindad y regeneración del bosque”. *Almoraima*, 43, pp. 87-110.
- IBÁÑEZ, Beatriz, GÓMEZ-APARICIO, Lorena, STOLL, Peter, AVILA, José Manuel, PÉREZ-RAMOS, Ignacio y GARCÍA, Luis Ventura (2015a). “A Neighborhood Analysis of the Consequences of Quercus Suber Decline for Regeneration Dynamics in Mediterranean Forests”. *Plos One*, 10(2), e0117827.
- IBÁÑEZ, Beatriz, GÓMEZ-APARICIO, Lorena, ÁVILA, José Manuel, PÉREZ-RAMOS, Ignacio, GARCÍA, Luis Ventura y MARAÑÓN, Teodoro (2015b). “Impact of Tree Decline on Spatial Patterns of Seedling-Mycorrhiza Interactions: Implications for Regeneration Dynamics in Mediterranean Forests”. *Forest Ecology and Management*, 353, pp. 1–9.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2005). *PORN/PRUG/PDS Parque Natural Los Alcornocales*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla, España.
- IBÁÑEZ, Beatriz, GÓMEZ-APARICIO, Lorena, ÁVILA, José Manuel, PÉREZ-RAMOS, Ignacio, MARAÑÓN, Teodoro (2017). “Effects of *Quercus suber* decline on woody plant regeneration: potential implications for successional dynamics in Mediterranean forests”. *Ecosystems*, 20 pp. 630-644.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge, UK and New York, USA, p. 996.
- JENKINS, William Rogert (1964). “A rapid centrifugal-floatation technique for separating nematodes from soil”. *Plant Disease Reporter*, 48, pp. 692.
- MÉDAIL, Frédéric y QUÉZEL Pierre (1997). «Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin». *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 84, pp. 112–127.
- MURPHY, Lora (2012) *Likelihood: Methods for maximum likelihood estimation*. R package version, 1,6.
- NIELSEN, Uffe, WALL Diana y SIX, Johan (2015). “Soil Biodiversity and the Environment.” *Annual Review of Environment and Resources*, 40, pp. 63-90. R CORE TEAM (2016). R: *A language and environment for statistical computing*. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RUÉSS, Liliane (2003). “Nematode Soil Faunal Analysis of Decomposition Pathways in Different Ecosystems”. *Nematology*, 5(2), pp. 179–81.
- STRICKLAND, Michael y ROUSK, Johannes (2010). “Considering Fungal:bacterial Dominance in Soils – Methods, Controls, and Ecosystem Implications”. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(9), pp. 1385–95.