

ALGO MÁS QUE PLANTAS: LA FAUNA DEL SUELO ES INCREÍBLEMENTE ABUNDANTE Y DIVERSA EN LA FONT ROJA, Y RESPONDE PRINCIPALMENTE A LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Santiago Soliveres Codina ^{1, 2, *}, Jimmy Morales Márquez ¹, Estrella Pastor Llorca ¹, Paula Lopezosa Estepa ¹, Alba Garrapiso Amorós ¹, Francisco Romero Fornés ¹, Delfina Martínez ¹, Adrián Martínez Tormo ¹ y Andreu Bonet ^{1, 2}

¹ Departamento de Ecología, Universidad de Alicante.

² Instituto Multidisciplinar del Medio "Ramón Margalef", Universidad de Alicante.

* Correo electrónico: Santiago.soliveres@ua.es

Resumen: Los organismos del suelo son una gran proporción de la biodiversidad, pero sabemos muy poco de ellos. Analizamos la fauna del suelo, y su respuesta al tamaño y calidad de sus hábitats. En sólo 48 muestras encontramos 96 familias de artrópodos, casi las mismas que de plantas en todo el P.N. Font Roja. La mayoría de estos organismos son colémbolos y ácaros, cuya riqueza y abundancia aumenta junto con la materia orgánica del suelo.

Palabras clave: ácaros, colémbolos, matorral, mesofauna, *Quercus rotundifolia*

Resum: Els organismes que viuen al sòl suposen una gran proporció de la biodiversitat, però no sabem massa sobre ells. Analitzem la fauna del sòl i la seua resposta a la mida i qualitat del seu habitat. En sòls 48 mostres hi trobem 96 famílies d'artròpodes, quasi tantes com famílies de plantes hi trobem a tot el P.N. Font Roja. La major part d'aquests organismes són col·lèmbols i àcars, i l'abundància i diversitat d'aquests organismes augmenta amb el contingut de carboni al sòl.

Paraules clau: àcars, col·lèmbols, matollar, mesofauna, *Quercus rotundifolia*

Abstract: Soil-associated organisms contribute a big proportion of global biodiversity, yet we know little about them. We analysed the soil fauna and its response to the size and quality of the habitat they inhabit. In only 48 samples we found 96 arthropod families, almost as many as plant families to be found in the entire protected area. Soil fauna was dominated by springtails and mites, with their abundance and diversity increasing with soil organic matter content.

Keywords: mesofauna, mites, shrubland, springtails, *Quercus rotundifolia*

INTRODUCCIÓN

Con 108 familias de plantas, el Parque Natural del Carrascal la Font Roja posee una de las floras más ricas de la provincia de Alicante (Serra y Soler, 2011). Es más, información reciente del Servicio de Vida Silvestre y el Banco de Datos de Biodiversidad de la Comunidad Valenciana (BDB) indican que este espacio protegido es el parque natural con mayor biodiversidad de la Comunidad Valenciana, con 2173 especies contando flora, animales vertebrados, hongos, líquenes y artrópodos (CETECK, 2019). Estos números, sin embargo, palidecen ante la enorme biodiversidad que yace a nuestros pies, con hasta 5000 organismos diferentes en tan sólo un puñado de suelo (Pennisi, 2020). La diversidad de bacterias, arqueas, hongos, nematodos o artrópodos en el suelo es muy superior a la que podemos encontrar a simple vista, y dicha diversidad no parece responder a los

factores ambientales de la misma forma que los organismos más conspicuos (Guerra et al., 2020). Raras veces, por no decir ninguna, se tiene en cuenta esta enorme fracción de la biodiversidad en los planes de gestión y manejo de los espacios naturales protegidos, y esta biodiversidad es más importante de lo que uno puede pensar a bote pronto. Los hongos, bacterias e invertebrados detritívoros del suelo juegan un papel fundamental en el reciclado de nutrientes, la producción vegetal y la infiltración del agua. Algunos de estos organismos, como los nematodos y algunos hongos, son también patógenos que afectan a las raíces de las plantas (causantes por ejemplo de la seca de la encina) o a los mamíferos, aunque también están aquellos que se los comen y mantienen controladas sus poblaciones, o los simbioses que mejoran el

el estado nutricional e hídrico de las plantas (como las micorrizas). Entre su alto potencial, se encuentra también un acervo genético único, incluyendo antibióticos de utilidad para el futuro o la clave para cultivos más resistentes a la sequía (Comisión Europea 2016, FAO 2020).

A pesar de su diversidad e importancia, sabemos bastante poco sobre cómo responden estos organismos a cambios ambientales, con la mayoría de los estudios centrándose en factores a gran escala, como cambios en la temperatura, la precipitación media, el pH y el contenido de materia orgánica en el suelo (Guerra et al., 2020). Estos estudios han aumentado de forma exponencial nuestro conocimiento sobre estos organismos, desembocando en la reciente publicación del *Atlas global de la biodiversidad del suelo* (Comisión Europea 2016) o el *Estado del conocimiento sobre la biodiversidad de suelos* (FAO, 2020), ambos disponibles online. Sin embargo, gestionar nuestros espacios naturales con el fin de maximizar su biodiversidad y la gran cantidad de servicios ecosistémicos que nos proveen, precisa saber cómo se distribuyen estos organismos a escala detallada, y cómo responden a factores ambientales que se puedan manejar. Además, nos falta información detallada sobre la diversidad de la macro- y mesofauna del suelo (organismos que miden más de 2 mm, y entre 0,1 y 2 mm, respectivamente). Esta falta de información es especialmente evidente en hábitats con gran variabilidad climática, dominados por matorrales, o en respuesta a factores relacionados con cambios en el uso del suelo y su intensidad (Guerra et al., 2020).

Quizás el factor con mayor influencia en la biodiversidad relacionado con los cambios en el uso del suelo es la fragmentación de los hábitats, reduciendo su tamaño, calidad, y la conectividad entre ellos (Sala et al., 2000; Jiménez-Chacón et al., 2018). Para la fauna del suelo, la escala de detalle es quizás la más relevante para estos organismos, pues estos hábitats los proveen las manchas de vegetación, que ofrecen mejores condiciones de temperatura y humedad, así como abundantes detritos de los que alimentarse (Doblas-Miranda et al., 2009; Santonja et al., 2017; Meloni et al., 2020).

Además de su tamaño, la riqueza de especies de plantas dentro de estas manchas, la calidad de sus hojas (y por tanto de su hojarasca), o la variedad de nichos ambientales, también pueden ser factores que determinen la diversidad de organismos del suelo (Scherber et al., 2010; Jiménez-Chacón et al., 2018).

OBJETIVOS

En este estudio analizamos los patrones de diversidad de la fauna asociada a la hojarasca y a los primeros centímetros del suelo en respuesta al tamaño y calidad de las manchas formadas por individuos de carrasca (*Quercus rotundifolia*), la especie forestal más representativa del Parque Natural del Carrascal de la Font Roja.

HIPÓTESIS

- 1) La diversidad y abundancia de la fauna del suelo se relaciona positivamente con el tamaño de la mancha de vegetación, su calidad (productividad, calidad de hoja, materia orgánica del suelo), y la diversidad de recursos que ofrece (riqueza de plantas, heterogeneidad)
- 2) La abundancia responde en mayor medida a la calidad de la mancha, mientras que la riqueza de especies lo hace a la diversidad de recursos.

METODOLOGÍA

Se localizaron 48 parcelas en la solana del Menejador. 43 de estas parcelas se localizan bajo el dosel de individuos desarrollados de carrasca (*Q. rotundifolia*), formando manchas de distintos tamaños (rango 4-254 m²) y el resto en áreas abiertas, dominadas por pequeños matorrales (e.g., *Cistus albidus*, *Salvia rosmarinus*) y herbáceas (*Brachypodium retusum*, *Stipa offneri*). La diversidad y abundancia de fauna se obtuvo mediante la extracción, con embudos de Tullgren, de 2 muestras (25 cm x 25 cm) de hojarasca y los primeros dos centímetros del suelo en cada una de las 48 parcelas. Cada muestra se extrajo mediante su posicionamiento bajo una luz incandescente durante 72 horas, de modo que el suelo se desecase y la fauna cayera a un bote con una disolución

(70%) para su posterior identificación. Incluso después de 72 horas, algunos organismos permanecían en la muestra, por lo que se procedió

a la revisión y extracción manual del resto de fauna (Figura 1).

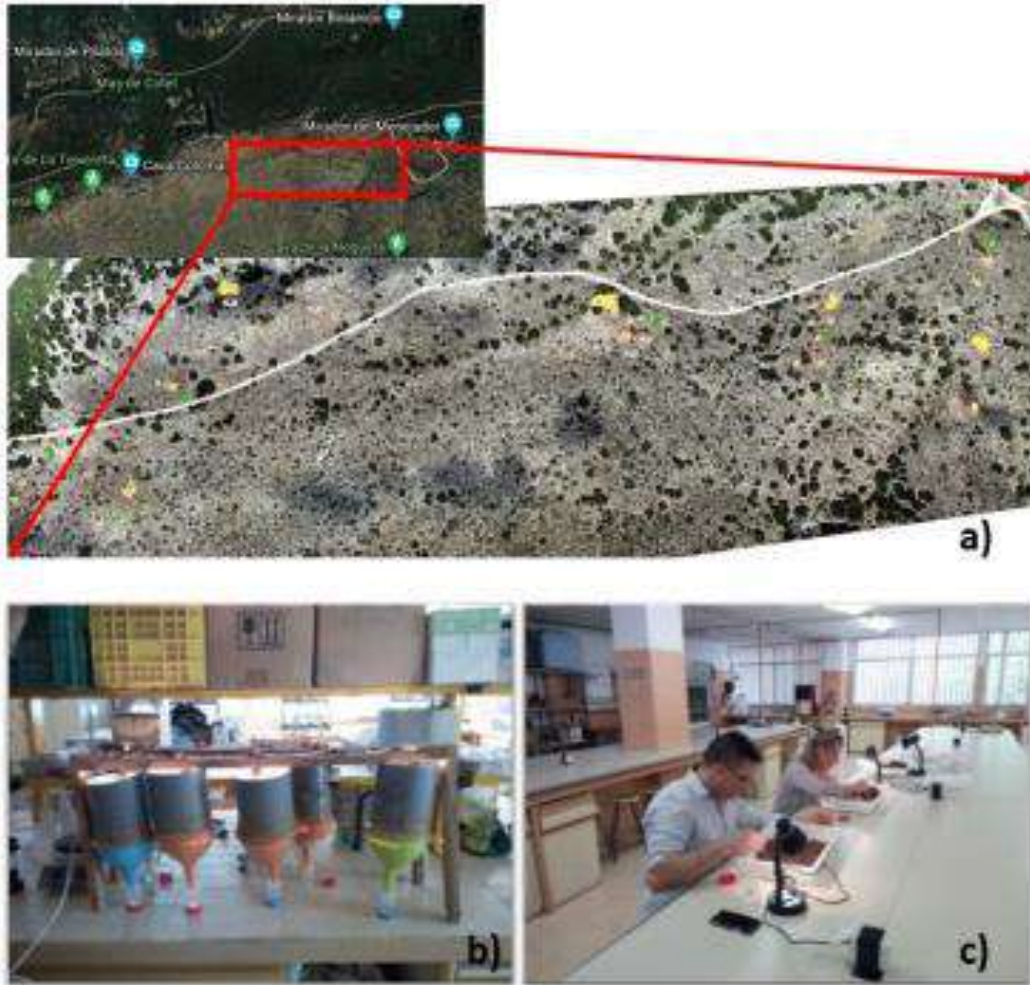


Figura 1. Foto aérea de la zona de estudio (a), extracción de fauna con embudos de Tullgren (b) y manual (c). Se muestran en la foto aérea las manchas de vegetación seleccionadas, indicando en amarillo las que mostraban evidencias de haber sufrido seca y en verde las que no. Créditos: ecodronetworks, Santiago Soliveres.

Una vez extraída, la fauna se identificó hasta la unidad taxonómica más cercana posible (Familia o Género en la mayoría de los casos), y se contó el número de individuos extraídos para cada taxón.

En cada una de las 48 parcelas se registró la diversidad de especies de plantas (bajo toda la mancha de vegetación o en un área de 5 m² para los claros), así como muestras de suelo (0-7 cm de profundidad) de las que se obtuvo el % de carbono

orgánico mediante el método Walkley Black. Conociendo las especies de plantas y su abundancia en cada parcela, obtuvimos de bases de datos públicas (TRY; Kattge et al., 2011) la media ponderada del área específica foliar, un indicativo de la calidad de la hojarasca y su valor nutritivo (Wright et al., 2004). Finalmente, un vuelo de drone nos permitió obtener la productividad vegetal de cada una de las 48 parcelas mediante el uso del índice NDVI, así como la variación en esta medida en distintos píxeles de 1 x 1 cm en cada muestra.

La riqueza y abundancia de fauna se utilizaron como variables de respuesta en sendos modelos lineales, incluyendo el tamaño (área de la mancha de vegetación, considerada 0 en las parcelas en claros), la calidad (NDVI, considerada 0 para los claros, media ponderada del área específica foliar, carbono orgánico del suelo) y diversidad (riqueza de plantas, variación en el NDVI) del hábitat como predictores. Estos modelos se simplificaron utilizando F-ratio tests hasta obtener el modelo más parsimonioso para abundancia y para riqueza. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete MASS para R v 4.0.3 (R core team 2020). Aproximadamente la mitad de las manchas de *Q. rotundifolia* muestreadas mostraban evidencias de haber sufrido episodios de seca, pero este hecho no se considera en nuestros análisis, ya que estos

episodios se correlacionan con cambios en la productividad y contenido de carbono orgánico (Pastor et al. 2021), siendo éstas últimas medidas continuas y por tanto ofreciendo mejor poder de predicción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En tan sólo 48 muestras de suelo (43 parches de carrasca + 5 muestras en suelo fuera de estos parches) encontramos 96 familias o subfamilias de invertebrados viviendo en el suelo, casi las mismas que familias de plantas en todo el parque (108; Serra y Soler, 2011). Estas familias representan una gran variedad de organismos (Figura 2) e indican la gran biodiversidad que se puede encontrar en los rincones menos observados del Parque.

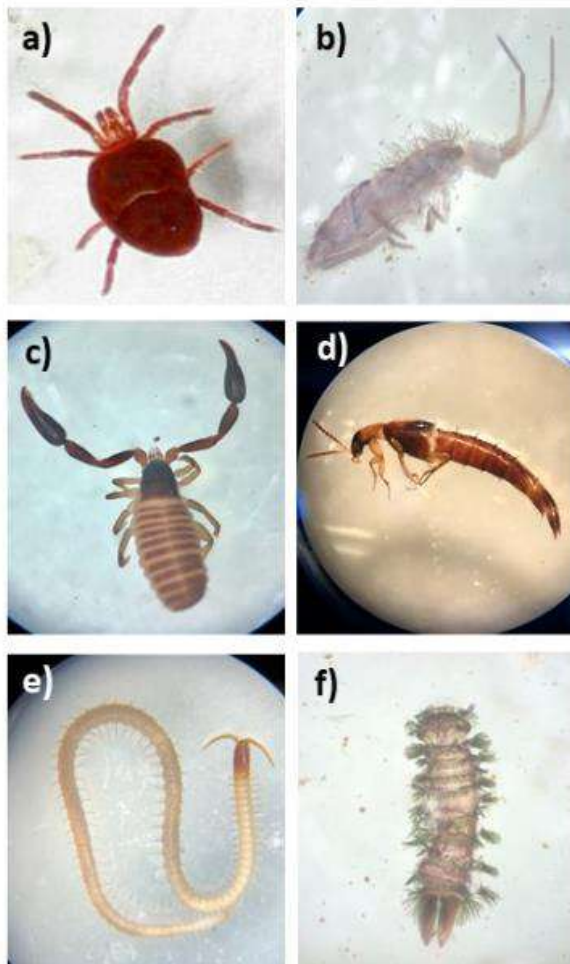


Figura 2. Algunos ejemplos de la fauna que habita en los suelos de la Font Roja. Ácaros (a- *Trombidium*) y colémbolos (b- *Entomobryidae*), muchos de ellos detritívoros, dominan entre la mesofauna edáfica que habita en la hojarasca de encina. Algunos de sus depredadores más vistosos incluyen a los pseudo-escorpiones (c- *Dactylochelifer*), las larvas de escarabajo (d- *Staphyllinidae*) o los quilópodos (e- *Geophilus*). Entre los muchos herbívoros encontrados, *Polyxenus* (f) nos parece uno particularmente vistoso, cuyos penachos le protegen de hormigas y otros depredadores. Créditos: Jimmy Morales-Márquez.

Hasta donde sabemos, ninguno de estos organismos figura como objeto de conservación en los planes de gestión de ningún espacio protegido de nuestro país. Sin embargo, es de esperar que la decisión de las Naciones Unidas de declarar 2015 como el año de la biodiversidad de los suelos, y nuevas políticas europeas (“EU’s Thematic Strategy on soil protection”) y de otros lugares (e.g., “Agricultural Green Development Program” en China, o las iniciativas internacionales “Global soil partnership” y “Global soil biodiversity initiative”), ayuden a poner el foco en la conservación de estos organismos, que suponen un 25% de toda la biodiversidad del planeta (WWF, 2018). Nuestro estudio contribuye a la descripción de parte de esta biodiversidad en el P.N. del Carrascal de la Font Roja, y provee algunos factores ambientales que pueden determinar su abundancia y distribución a escalas relevantes para su gestión y conservación. El material generado en este proyecto (listas de

taxones georreferenciadas, fotografías, muestras conservadas) puede servir también para la organización de actividades de divulgación sobre la importancia de esta biodiversidad.

La mayoría de los organismos encontrados eran colémbolos (familias *Entomobryidae* y *Onychiuridae*) y ácaros (familias *Oribatulidae* y *Tectocepheidae*), muchos de ellos detritívoros y cuya dominancia entre la mesofauna del suelo es bien conocida (Figura 3; Comisión Europea 2016; Jiménez-Chacón et al., 2018). Estos organismos contribuyen de manera clave en los ciclos del carbono y el nitrógeno, ayudando a mantener la fertilidad de los suelos y aumentar el secuestro de CO₂ en los mismos (Comisión Europea 2016). También resultaron muy abundantes las hormigas del género *Tetramorium* y los psicópteros del género *Liposcelis* (Figura 3).

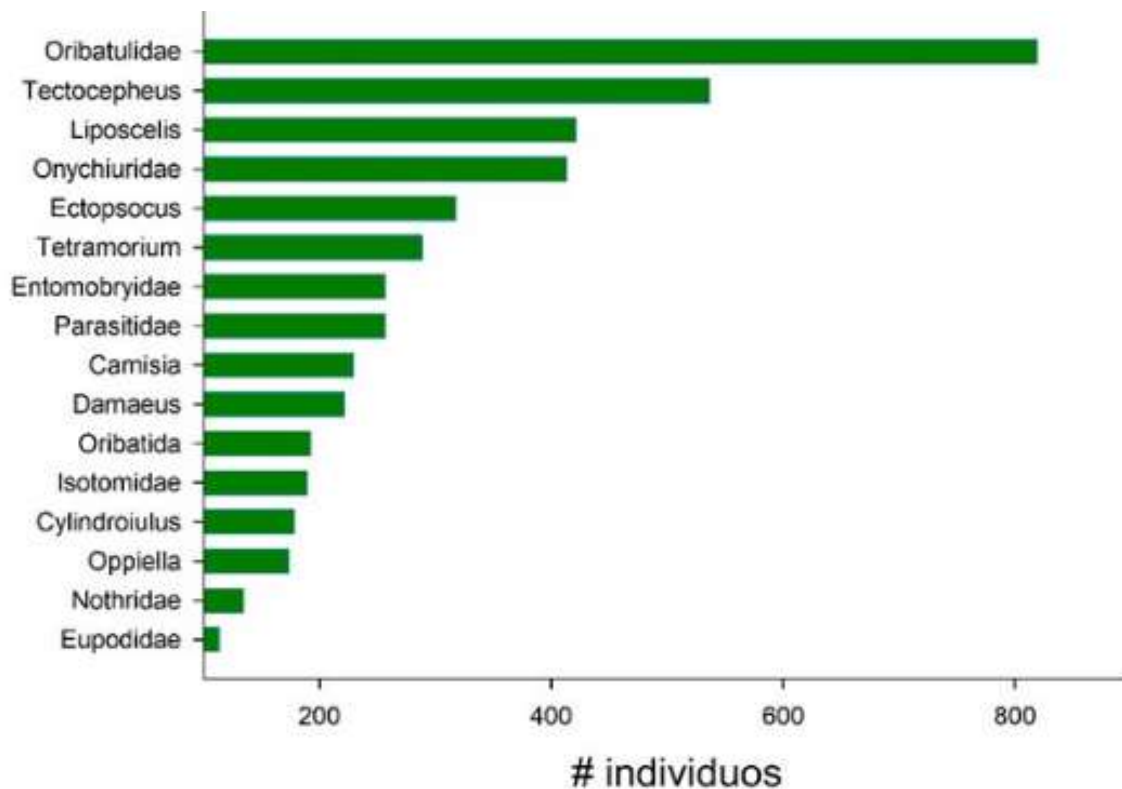


Figura 3. Número de individuos encontrados para los 16 táxones más abundantes en las muestras de hojarasca y suelo tomados en la zona de estudio. Los grupos más abundantes fueron los ácaros (*Oribatulidae*, *Tectocepheus*, *Parasitidae*, *Camisia*, *Damaeus*, *Oribatida*, *Oppiella*, *Nothridae*, *Eupodidae*) y los colémbolos (*Onychiuridae*, *Entomobryidae*, *Isotomidae*). Otros taxones muy abundantes fueron el género de hormigas *Tetramorium*, los psicópteros *Ectopsocus*, o los milípedos del género *Cylindroiulus*. En total, se observaron 149 taxones, pertenecientes a 96 familias distintas.

En un artículo previo, se han reportado 11 géneros de hormigas en el P.N. del Carrascal de la Font Roja (Hernández et al., 2008), de los cuales nosotros sólo encontramos cuatro en la solana del Menejador (*Camponotus*, *Lasius* [posiblemente *L. lasioides*] *Monomorium* [posiblemente *M. salomonis*] y *Tetramorium* [posiblemente *T. rabaudi*]; Hernández et al. 2008). Por tanto, es de esperar que este muestreo en una pequeña zona del parque, sin contar con la extracción en húmedo (recomendada para nematodos) o los análisis de ADN (recomendada para microbiota), sea una clara subestima del total de especies asociadas al suelo que podemos encontrar en el parque.

Las abundancias (número de individuos) oscilaron entre 8 y 566 individuos/muestra, y la riqueza entre 5 y 56 taxones distintos/muestra. La fauna del suelo fue mucho menos abundante y diversa en las zonas sin carrasca que bajo su dosel, con unas 3 veces más individuos (146 vs 46) y 2 veces más especies (27 vs 10), de media, registrados bajo las carrascas que en zonas aledañas. Aparte de la mayor disponibilidad de la hojarasca de la que se alimentan muchos de estos organismos, estas diferencias se explican porque bajo el dosel de la carrasca hay menos temperatura y mayor humedad, y la fauna del suelo es sensible a las altas temperaturas y la sequía (Blankinship et al., 2011; Jiménez-Chacón et al. 2018; Thakur et al., 2018). A pesar de estas diferencias entre claros y carrascas, la diversidad y abundancia de la fauna del suelo no parece depender ni del tamaño de la mancha, ni de su calidad o heterogeneidad. De hecho, de los seis predictores incluidos en nuestros modelos estadísticos (área, productividad, área específica foliar, carbono orgánico, riqueza de especies de plantas y variación en la productividad), sólo el carbono orgánico del suelo tuvo un efecto significativo tanto en la abundancia como en la diversidad de la fauna del suelo. De hecho, los modelos con los 6 predictores no fueron significativamente distintos que aquellos incluyendo sólo el carbono orgánico, y no añadieron, en el mejor de los casos, más de un 5% extra de varianza explicada. El contenido de carbono orgánico del suelo, por otro lado, explicó un 28% de la variación en la riqueza y abundancia de fauna en nuestro estudio (Figura 4). Estos resultados difieren de los

predictores más importantes encontrados en estudios a escala global en bacterias (pH del suelo y productividad vegetal) (Delgado-Baquerizo et al., 2018) u hongos (lluvia y calcio en el suelo; Tedersoo et al., 2014). Esto puede deberse tanto a la distinta escala espacial evaluada (global vs local) como a los distintos organismos objeto de estudio (fauna vs microbios). Otros estudios enfocados a cambios en la mesofauna a escala local (Jiménez-Chacón et al., 2018; Meloni et al., 2020) identificaron la disponibilidad de luz o el tamaño de la mancha de vegetación como factores clave en la diversidad y abundancia de la macro- y mesofauna del suelo. Nuestros resultados concuerdan parcialmente con estas evidencias (mayor abundancia y diversidad bajo carrasca, con menor luz incidente, que en claro), aunque encontramos mucho menor efecto del esperado del área foliar (correlacionada con el NDVI y con la disponibilidad de luz) o el tamaño de la mancha, posiblemente porque el contenido de carbono orgánico en el suelo media estos efectos. También encontramos una menor influencia de la riqueza de plantas de la esperada. Por ejemplo, la diversidad de colémbolos se relacionó de forma positiva con la riqueza de especies de plantas (con un rango de riquezas similar al nuestro), mientras que el horizonte orgánico del suelo jugó un papel menos relevante, en un estudio a una escala espacial similar a la nuestra en bosques escoceses (Vanbergen et al., 2007). Estos resultados contrastados reflejan la importancia de estudiar los múltiples elementos que conforman la biodiversidad del suelo, así como los factores que determinan su riqueza y abundancia a distintas escalas espaciales, si pretendemos poder conservarlas en un futuro cercano. Nuestros resultados enfatizan la relación entre la cantidad de materia orgánica en el suelo y la diversidad y abundancia de estos organismos a pequeña escala. Esto puede ser un indicativo de la calidad del hábitat para estos organismos, muchos de ellos detritívoros que se alimentan de restos orgánicos en el suelo, o bien puede reflejar su importante papel en el secuestro de carbono en el suelo, contribuyendo de manera activa a incrementar el contenido de carbono orgánico en el mismo (Comisión Europea 2016). Independientemente de quien causa qué, esta fuerte relación enfatiza la posibilidad de generar escenarios de gestión donde,

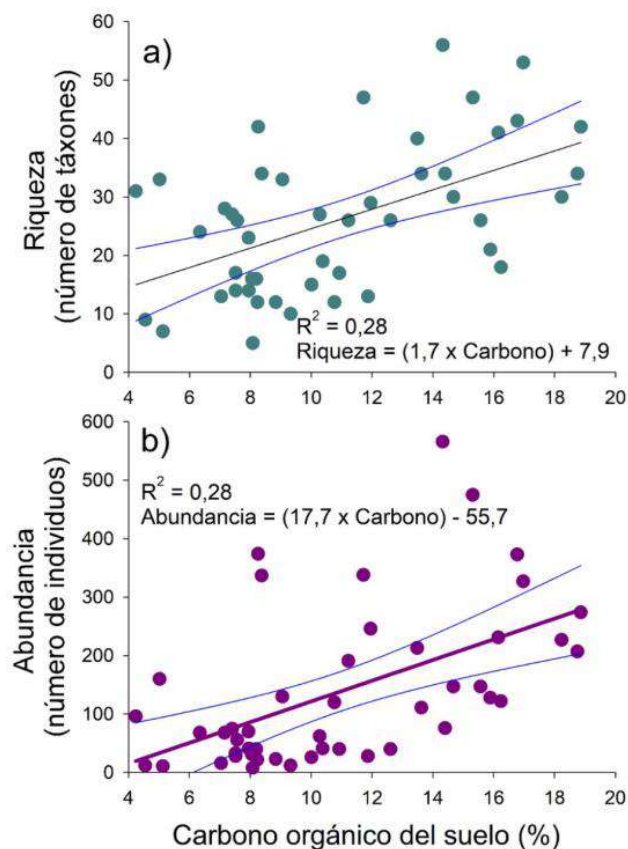


Figura 4. Tanto el número de especies (a) como su abundancia (b) respondieron de forma positiva al contenido de carbono orgánico del suelo, que fue su principal predictor. El contenido de carbono orgánico del suelo es generalmente superior bajo arbustos que en zonas libres de vegetación, por lo que el número de especies fue el doble (y el número de individuos muestreados el triple) bajo manchas de *Q. rotundifolia* que en claros aledaños. Se muestra proporción de varianza explicada (R^2) y fórmula de la recta de regresión en ambos casos.

tanto el carbono en el suelo (una potente estrategia de mitigación contra las causas de la crisis climática), como la biodiversidad del suelo, se maximicen de forma simultánea. En este estudio obtenemos la ecuación aproximada: riqueza de especies de fauna = $1,66 \times$ carbono en el suelo + 7,9 (Figura 4). Esta ecuación, junto con estudios más extensivos que estamos realizando en otras zonas del parque, y la disponibilidad de estimas de carbono orgánico en el suelo a gran resolución (<https://soilgrids.org/>), nos permite predecir, hasta cierto punto, la diversidad de estos organismos tan poco estudiados en otras zonas del parque. Los siguientes pasos serán evaluar la bondad de estas estimaciones, muestreando zonas distintas dentro de los P.N. del Carrascal Font Roja y P.N Serra de Mariola, así como cuantificar cambios en la diversidad de bacterias, nematodos, rotíferos y hongos del suelo mediante análisis de ADN.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Jordi Acosta su ayuda en la identificación de especies de plantas, así como al resto del personal del P.N. del Carrascal de la Font Roja por su apoyo y colaboración en el estudio. Rocío Montes y Pablo García colaboraron en el procesado de muestras. 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).

BIBLIOGRAFÍA

- Blankinship, J.C., Niklaus, P.A., y Hungate, B.A.** (2011). A meta-analysis of responses of soil biota to global change. *Oecologia* 165: 553–565
- CETECK** (2019). Informe de Espacios Naturales Protegidos 2019. Servicio de Vida Silvestre, Conselleria d’Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural, Generalitat Valenciana.
- Comisión Europea** (2016). Global soil biodiversity atlas: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-biodiversity-atlas#tabs-0-description=0>
- Delgado-Baquerizo, M., Oliveira, A.M., Brewer, T.E., Benavent-González, A., Eldridge, D.J., Bardgett, R.D., Maestre, F.T., Singh, B.J. y Fierer, N.** (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science* 359: 320-325.
- Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., González-Megías, A.** (2009) Different microhabitats affect soil macroinvertebrate assemblages in a Mediterranean arid ecosystem. *Applied Soil Ecology* 41: 329–335.
- FAO** (2020). State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/cb1928en/>
- Guerra, C.A., et al.** (2020). Blind spots in global soil biodiversity and ecosystem function research. *Nature communications* 11: 3870.
- Hernández, O., Pérez-Bañón, C., y Marcos, M.A.** (2008). Los formícidos (Hymenoptera, Formicidae) del parque natural de la Font Roja. *Iberis* 6: 9-20.
- Jimenez-Chacón, A., Homet, P., Matias, L., Gómez-Aparicio, L. y Godoy, O.** (2018). Fine scale determinants of soil litter fauna on a mediterranean mixed oak forest invaded by the exotic soil-borne pathogen *Phytophthora cinnamomi*. *Forests* 9: 218.
- Kattge, J., et al.** (2011). TRY – a global database of plant traits. *Global change biology* 17: 2905-2935.
- Meloni F., Civietta, B.F., Zaragoza, J.A., Moraza M.L., y Bautista, S.** (2020). Vegetation Pattern Modulates Ground Arthropod Diversity in Semi-Arid Mediterranean Steppes. *Insects* 11: 59.
- Pennisi, E.** (2020). Spare a thought for the teeming ecosystem beneath your feet. *Science* 370: 1255-1256.
- R core team** (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Sala, O.E., et al.** (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- Santonja, M., Fernandez, C., Proffit, M., Gers, C., Gauquelin, T., Reiter, I.M., Cramer, W., Baldy, V.** (2017). Plant litter mixture partly mitigates the negative effects of extended drought on soil biota and litter decomposition in a mediterranean oak forest. *Journal of ecology* 105: 801–815
- Scherber, C. et al.** (2010). Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment. *Nature* 468: 553-556.
- Serra, L., y Soler, J.X.** (2011). Flora del parc natural de la Font Roja. Gráficas Alcoi, Alacant. 592 p. ISBN: 978-84-614-6724-2.
- Tedersoo, L., et al.** (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Science* 346: 1078-1090.
- Thakur, M.P., Reich, P., Hobbie, S.E., Stefanski, A., Rich, R., Rice, K.E., Eddy, W.C., y Eisenhauer, N.** (2018). Reduced feeding activity of soil detritivores under warmer and drier conditions. *Nature Climate Change* 8: 75–78.
- Vanbergen, A.J., Watt, A.D., Mitchell, R., Truscott, A.M., Palmer, S.C.F., Ivits, E., Eggleton, P., Jones, T.H., y Sousa, J.P.** (2007). Scale-specific correlations between habitat heterogeneity and soil fauna diversity along a landscape structure gradient. *Oecologia* 153: 713-725.
- Wright, I.J., et al.** (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428: 821-827.
- WWF** (2018). Living Planet Report -2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). WWF, Gland, Switzerland.