

Fauna edáfica: un año de estudio en sistemas agrícolas ecológicos y convencionales

Soil fauna: one-year study in organic and conventional agricultural systems

Adolfo Perdomo González

Tutores:

Francisco Javier Díaz Peña

Pedro Oromí Masoliver

GRADO EN BIOLOGÍA
SEPTIEMBRE 2020

Gracias

al profesor Francisco Javier Díaz Peña,

al profesor Pedro Oromí Masoliver,

a la doctora Paula Arribas,

a Paco y Amanhuy,

a Rubén.

A ti.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1 INTRODUCCIÓN	2
2 OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo general.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
3 MATERIAL Y MÉTODOS	5
3.1 Caracterización del área de estudio	5
3.1.1 Laurisilva.....	6
3.1.2 Bosque termófilo	7
3.1.3 Cardonal-tabaibal	7
3.2 Metodología de muestreo	8
3.3 Identificación de especímenes	10
3.4 Tratamiento estadístico de los datos	12
4 RESULTADOS.....	13
4.1 Análisis global de las comunidades edáficas.....	13
4.1.1 Composición a nivel de órdenes	13
4.1.2 Efecto del piso bioclimático.....	15
4.1.3 Efecto de la profundidad	16
4.1.4 Variación temporal.....	17
4.2 Efecto del uso del suelo en las comunidades edáficas.....	19
4.2.1 Impacto del tratamiento en la riqueza y en la abundancia	19
4.2.2 Ordenamiento de las comunidades según el uso del suelo	20
4.2.3 Linajes indicadores de cada tratamiento	21
5 DISCUSIÓN	22
6 CONCLUSIONES	25
7 BIBLIOGRAFÍA	27
8 ANEXO.....	29

RESUMEN

Este trabajo de fin de grado aborda el estudio de las comunidades de fauna edáfica (meso- y macrofauna) en tres pisos bioclimáticos (laurisilva, boque termófilo y cardonal-tabaibal) de la vertiente norte de la isla de Tenerife. En él se evalúan los efectos de las actividades agrícolas convencional y ecológica en la composición, riqueza y abundancia de la fauna edáfica, planteándose como hipótesis de trabajo que, en contraste con la agricultura convencional o intensiva, las prácticas agrícolas más sostenibles, asociadas a un manejo ecológico, podrían ejercer un menor impacto en las poblaciones naturales del suelo. La metodología de muestreo aplicada, trampas de caída usadas tradicionalmente para el estudio de la fauna hipógea en el MSS (medio subterráneo superficial), proporcionó a lo largo de 12 meses (diciembre 2018 - diciembre 2019) aproximadamente 80.000 individuos que fueron clasificados en 30 órdenes taxonómicos. Este estudio permitió establecer, entre otras conclusiones, que los primeros centímetros del suelo (0-15 cm) albergan casi la mitad de los individuos del ecosistema edáfico, y que el tipo de actividad agrícola no tuvo un efecto significativo en la abundancia o riqueza de las poblaciones, pero sí en la composición de las mismas, siendo el impacto de la actividad agrícola sitio-dependiente.

Palabras clave: Fauna edáfica, agricultura ecológica, agricultura convencional.

ABSTRACT

This work addresses the study of soil fauna communities (meso and macrofauna) in three bioclimatic belts (laurel forest, thermophilous woodlands and cardón shrublands) on the northern face of Tenerife island. The work assesses the effects of conventional and ecological agricultural activity on the composition, richness and abundance of soil fauna, considering as working hypothesis that, in contrast to conventional or intensive agriculture, more sustainable agricultural practices associated with ecological management, could have a lesser impact on the natural populations of the soil. The applied sampling methodology, pitfall traps traditionally used for the study of hypogean fauna in the MSS (mesovoid shallow substratum), provided over 12 months (December 2018 - December 2019) approximately 80,000 individuals that were classified into 30 taxonomic orders. The study made possible to establish, among other conclusions, that the first centimeters of the soil (0-15 cm) house almost half of the individuals of the soil ecosystem, and that the type of agricultural activity did not have a significant effect on abundance or richness, but on the composition of communities, being the impact of agricultural activity site-dependent.

Keywords: Soil fauna, ecological agriculture, conventional agriculture.

1 INTRODUCCIÓN

Podemos definir “suelo” como cualquier material dentro de los dos metros de la superficie de la Tierra que esté en contacto con la atmósfera (excluyendo a los organismos vivos, a las zonas con hielo continuo no cubiertas por otro material y a las masas de agua de más de dos metros de profundidad) (IUSS Working Group WRB, 2015). El ecosistema edáfico alberga una de las comunidades biológicas más complejas del planeta (Barrios, 2007), constituyendo uno de los hábitats con mayor biodiversidad (se estima que aproximadamente una cuarta parte de la biodiversidad global se encuentra en los suelos; Briones, 2014). Los suelos de uso agrícola no son una excepción, de manera que un elevado porcentaje de la biodiversidad de los sistemas agrícolas está asociada a ellos (Tabaglio *et al.*, 2009).

Esa biodiversidad contribuye con un amplio abanico de servicios ecosistémicos esenciales para la sostenibilidad de los sistemas naturales y agrícolas (Barrios, 2007). Incluye bacterias, hongos, protozoos, nemátodos, anélidos, ácaros, colémbolos y macroartrópodos (p.ej. arañas, miriápodos, insectos o isópodos; Briones, 2014), que se suelen clasificar en función de su anchura corporal en microflora (1–100 μm , p.ej. bacterias,

hongos), microfauna (5–120 μm , p.ej. protozoos, nemátodos), mesofauna (80 μm – 2 mm, p.ej. colémbolos, ácaros) y macrofauna (500 μm – 50 mm, p.ej. lombrices, hormigas) (Figura 1).

De forma general, en las cadenas tróficas del suelo, son los hongos y bacterias quienes mineralizan la materia orgánica muerta hacia nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento de las plantas. Previamente la macrofauna (p.ej. las lombrices) fragmenta esa materia orgánica y esparce la microflora, produciendo estructuras biogénicas y bioturbaciones fundamentales en el mantenimiento de la porosidad, aireación y estructura del suelo. La micro- y la mesofauna depredan hongos y bacterias, se depredan entre sí, y son depredados por la macrofauna (generalización a partir de Barrios, 2007; Briones, 2014; Menta *et al.*, 2018).

Aunque los suelos han sido ampliamente estudiados y clasificados en términos de características físicas y químicas, el conocimiento de la biodiversidad y sus funciones en los suelos es todavía incipiente. La opacidad de este mundo subterráneo ha limitado nuestra comprensión de sus contribuciones a los procesos del suelo;

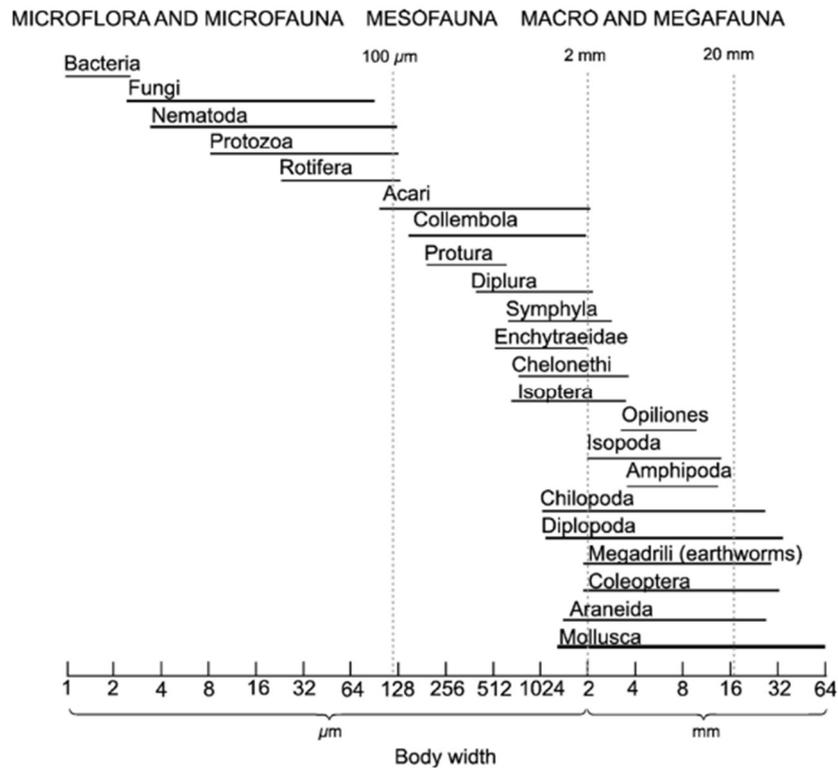


Figura 1. Clasificación de los organismos que habitan el suelo según su anchura corporal (Swift *et al.*, 1979).

su inmensa diversidad, su pequeño tamaño y problemas relativos a las técnicas de estudio han limitado su investigación. Por estas razones, se ha descrito como la "tercera frontera biótica" después de los abismos oceánicos y las copas de los bosques tropicales (André *et al.*, 1994).

Una mejor comprensión fisiológica y metabólica de cuándo y cómo una comunidad compleja de organismos del suelo accede a los nutrientes, altera su entorno y, a su vez, afecta los procesos del suelo, permitirá, por ejemplo, una evaluación cuantitativa más realista de sus funciones ecológicas en los ciclos

biogeoquímicos. A ese respecto se están produciendo avances: la taxonomía tradicional basada en aspectos morfológicos y anatómicos está siendo reemplazada por prometedoras técnicas moleculares, p.ej. metabarcoding, mitochondrial metagenomics (Briones, 2014; Arribas *et al.*, 2016).

Los sistemas agrícolas se pueden entender como ecosistemas terrestres que proporcionan bienes en forma de producción de biomasa y también servicios de regulación que son críticos para la sostenibilidad del propio ecosistema, como son la descomposición de materia orgánica, el mantenimiento de

la estructura del suelo, la regulación del agua, la supresión de enfermedades y el reciclaje de nutrientes (Kibblewhite *et al.*, 2008). Los bienes agrícolas (frutas, verduras, etc.) tienen un valor asociado muy claro y comprensible para la sociedad, si bien son los servicios ecosistémicos los que, a pesar de su elevado valor ecológico y sus implicaciones culturales y espirituales, no suelen tenerse en cuenta cuando se interpreta la productividad de las tierras. En un intento de encontrar sinergias entre ambos tipos de servicios, Briones (2014) afirma que habrá más oportunidades para que la sociedad apoye la conservación de la biodiversidad si hay un valor económico asociado a ella. Así, desde el punto de vista de los agricultores, favorecer la biota edáfica no sería un objetivo principal si no repercutiera directa y positivamente en la mejora de las cosechas, la cual está íntimamente relacionada con el secuestro del carbono y el reciclaje de nutrientes, procesos gobernados por la biota del suelo (De Vries *et al.*, 2013).

En la agricultura convencional, el uso intensivo de técnicas que dependen de recursos energéticos no renovables, como la labranza mecánica del suelo o la aplicación de fertilizantes y pesticidas, ha venido a reemplazar los procesos naturales que regulan la estructura del suelo, el suministro de nutrientes o el

control de plagas, y al mismo tiempo ha invisibilizado el papel de los organismos edáficos (Barrios, 2007). Prácticas basadas en la aplicación de insumos externos aumentan la dependencia de los agrosistemas de factores relacionados con el mercado y podrían poner en peligro la capacidad de autorregulación biológica del suelo frente a cambios medioambientales (Swift *et al.*, 2004; Brussaard *et al.*, 2007). Como alternativa a la agricultura convencional existen prácticas que son capaces de potenciar y mejorar el funcionamiento biológico del suelo, y que constituyen los pilares de una agricultura sostenible (Malézieux *et al.*, 2009); son los llamados métodos orgánicos o ecológicos que, frente al uso rutinario de herbicidas, pesticidas y aplicaciones de nutrientes inorgánicos en la producción de cultivos, apuntan a usos más respetuosos con el medio ambiente basados en un manejo integrado de la materia orgánica y de la biodiversidad (Bengtsson *et al.*, 2005).

Barrios (2007) considera dos enfoques muy útiles para la sostenibilidad de la agricultura: el inventario de la biodiversidad en los gradientes de intensificación agrícola, y la identificación de las opciones de manejo del suelo que conduzcan a resultados que equilibren la productividad agrícola y la provisión de servicios ecosistémicos.

Ambos planteamientos recogen la vocación con la que se afronta este trabajo, que pretende arrojar luz sobre la fauna edáfica de diferentes ambientes de la vertiente norte de la Isla de Tenerife y evaluar el impacto de la actividad agrícola sobre sus comunidades.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Este trabajo pretende evaluar el impacto del manejo agrícola convencional y ecológico en las comunidades de fauna edáfica (mesofauna y macrofauna) en diferentes pisos bioclimáticos de la vertiente norte de la isla de Tenerife a lo largo de un año. Se plantea como hipótesis de trabajo que la agricultura ecológica, por sus prácticas más respetuosas con el medio ambiente, genera un impacto mucho menor en la estructura de las comunidades edáficas que la agricultura convencional.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar las diferencias en riqueza de órdenes y abundancia de especímenes de la fauna del suelo a nivel de pisos bioclimáticos,

variación temporal y profundidad de suelo muestreada.

- Determinar el efecto del tipo de actividad agrícola (convencional y ecológica) en la riqueza, abundancia y composición de las comunidades edáficas.
- Evaluar la idoneidad de la metodología de muestreo aplicada en el estudio de la meso y macrofauna edáficas.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del área de estudio

El estudio se realizó en tres localidades de la vertiente norte de la isla de Tenerife, que se nombraron por su vegetación potencial natural: laurisilva (1), bosque termófilo (2) y cardonal-tabaibal (3) (Figura 2). Dentro de cada localidad se establecieron tres estaciones de muestreo: una bajo producción en agricultura ecológica (e), una en agricultura convencional (c) y una sin producción agrícola que presenta vegetación natural (n; un total de 9 estaciones; Tabla 1).

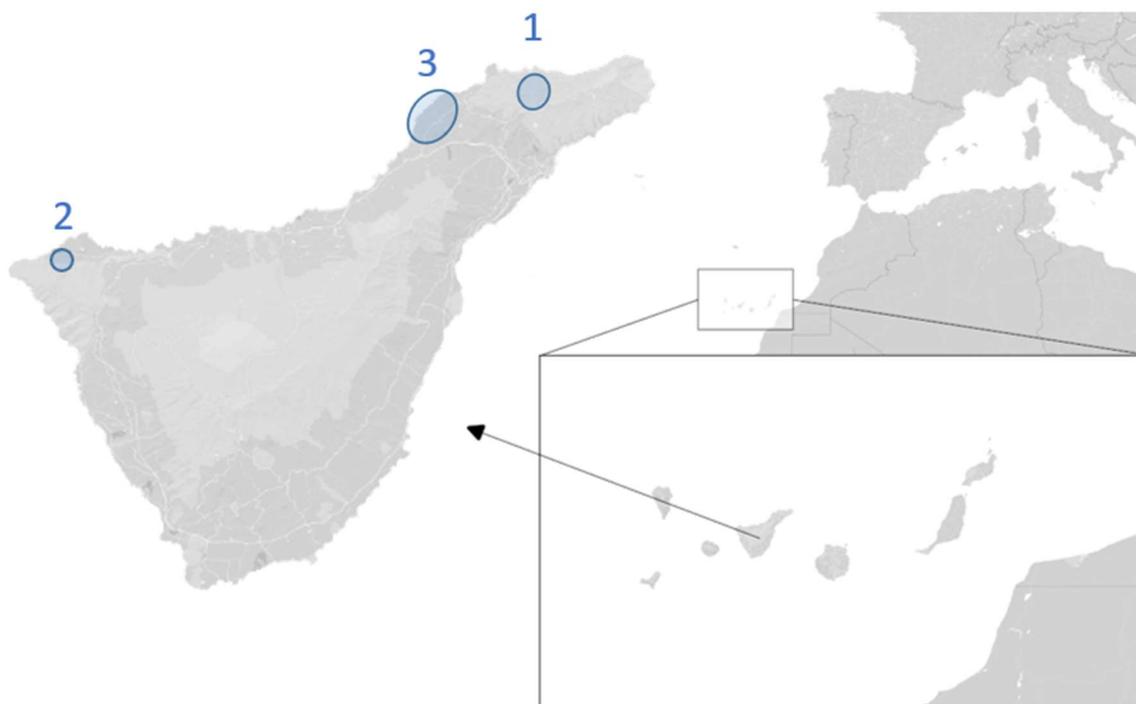


Figura 2. Áreas de estudio: laurisilva (1), bosque termófilo (2) y cardonal-tabaibal (3). Mapa creado con QGIS 3.12.

Tabla 1. Relación de estaciones y su localización geográfica.

Localidad	Estación	Uso del suelo	Coord X	Coord Y	Altitud (m)
Laurisilva	1e	Agricultura ecológica	376247	3159483	622
Laurisilva	1c	Agricultura convencional	376164	3159165	608
Laurisilva	1n	Vegetación natural	375230	3157625	858
Termófilo	2e	Agricultura ecológica	318015	3138928	137
Termófilo	2c	Agricultura convencional	317926	3139016	127
Termófilo	2n	Vegetación natural	317459	3138274	242
Card-tab	3e	Agricultura ecológica	365217	3156234	158
Card-tab	3c	Agricultura convencional	365279	3156273	158
Card-tab	3n	Vegetación natural	361100	3154097	121

3.1.1 Laurisilva

La laurisilva constituye un bosque húmedo subtropical, con árboles de hoja ancha perenne y amplia cobertura, lo que hace que la luz solar apenas llegue al suelo. Este tipo de bosques son característicos de la vertiente norte de las

islas con mayor elevación que están influenciadas por los vientos alisios húmedos. Las estaciones de muestreo se situaron orientadas al norte, dentro del espacio protegido del Parque Rural de Anaga, en altitudes comprendidas entre 622-858 m snm. Las dos estaciones

agrícolas se encuentran en zonas aterrazadas, dedicándose la convencional al cultivo de papas y la ecológica a distintos tipos de hortalizas. La estación con vegetación natural presenta una pendiente del 6-10% aproximadamente.

En esta localidad predominan las coladas y piroclastos basálticos del mioceno. La elevada actividad volcánica acaecida en la isla hace que aparezcan también materiales volcánicos de diferente naturaleza y edad. Los suelos (Alisoles; WRB, 2006) son profundos (>1 m) y con textura limosa a limo-arcillosa. Presentan estructura grumosa muy friable, mucha microporosidad y bajo contenido en elementos gruesos (algunas gravas redondeadas). Su salinidad es baja (Conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada, C.E. < 1,5 dS m⁻¹) y la reacción del suelo ligeramente ácida (pH ~ 5-5,5). Los niveles de carbono y nitrógeno son moderadamente altos (8 y 1% respectivamente) (Guerra-García, 2009).

3.1.2 Bosque termófilo

El bosque termófilo se encuentra en una cota donde las precipitaciones son menos abundantes que en la laurisilva y las temperaturas más suaves. Este tipo de bosque no es una formación homogénea, sino que está constituido por diferentes asociaciones arbóreas y arbustivas. El

bosque termófilo está muy mermado en Tenerife debido a la influencia humana, ya que en este ecosistema se encuentran zonas de cultivo muy productivas y son, históricamente, las áreas con mayor densidad de población. Las estaciones se sitúan en altitudes comprendidas entre 127-242 m snm y con orientación norte. Las dos estaciones agrícolas se sitúan en zonas aterrazadas de la parte baja de una ladera y se dedican al cultivo de frutales tropicales. La estación con vegetación natural se sitúa inmediatamente por encima en un área cercana a afloramientos rocosos.

Desde un punto de vista geológico, en esta localidad predominan las coladas basálticas del Pleistoceno Superior. Los suelos de estas estaciones (Cambisoles; WRB, 2006) presentan una profundidad moderada (0,8-1 m), textura arcillosa a franco-arcillosa y estructura poliédrica. Contienen abundantes gravas y piedras irregulares, alta microporosidad y cavidades medianas. La salinidad es generalmente baja (C.E. < 2,0 dS m⁻¹) y la reacción del suelo neutra (pH ~ 7). Los niveles de carbono y nitrógeno son moderados (4 y 0,5% respectivamente) (Guerra-García, 2009).

3.1.3 Cardonal-tabaibal

Las formaciones vegetales que se encuentran en esta zona están controladas

por la escasez de precipitaciones y las altas temperaturas durante la mayor parte del año. Las estaciones de muestreo se sitúan entre los 121-158 m snm, todas ellas con orientación norte. Las estaciones de las zonas agrícolas se situaron en fincas aterrazadas de la parte baja del Valle de Tejina, dedicadas al cultivo de frutales tropicales. La estación con vegetación natural se estableció en una terraza abandonada de una ladera en Tacoronte.

La geología de esta localidad se caracteriza por materiales que van desde edades miocénicas a holocénicas, destacando el alto porcentaje de superficie ocupado por depósitos aluviales/coluviales debido al predominio de zonas de laderas escarpadas. Los suelos de esta localidad (Cambisoles; WRB, 2006) son medianamente profundos (0,5-0,8 m), presentan textura francoarcillosa, estructura poliédrica ligeramente dura, superficie agrietada, abundantes microporos y frecuentes fisuras finas, con abundantes piedras y gravas irregulares. Presentan una salinidad moderada (C. E. $\sim 2,5 \text{ dS m}^{-1}$), pH ligeramente alcalino (7,8-8,2), y bajos contenidos en carbono y nitrógeno ($< 2,5$ y $0,3\%$ respectivamente) (Guerra-García, 2009).

3.2 Metodología de muestreo

En cada estación se instaló una trampa de caída diseñada por miembros del

Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna para el estudio de la fauna hipogea en el medio subterráneo superficial (MSS; López y Oromí, 2010).

Cada trampa (Figura 3) consiste en un tubo de PVC de 85 cm de longitud y un diámetro interior de 11 cm. Presenta perforaciones que forman una red de agujeros de 6 mm de diámetro separados 5 cm entre ellos. En el interior se sitúa una serie de cuatro o cinco recipientes (atendiendo a la profundidad del suelo) separados 15 cm uno de otro y unidos entre sí por una varilla de metal. Cada recipiente está unido al resto por una rosca metálica, puede ser manejado individualmente y contiene propilenglicol (PG) que actúa como líquido conservante de los individuos capturados. Por encima de cada recipiente se coloca un tubo Eppendorf lleno de queso azul (QA) a modo de cebo. La parte superior del tubo se cierra con una tapa para impedir la entrada de fauna y restos orgánicos y minerales desde la superficie.

Para la colocación de las trampas se realizó un agujero de unos 20 cm de diámetro hasta una profundidad de 80 cm (excepto estaciones 2n y 3n en las que se

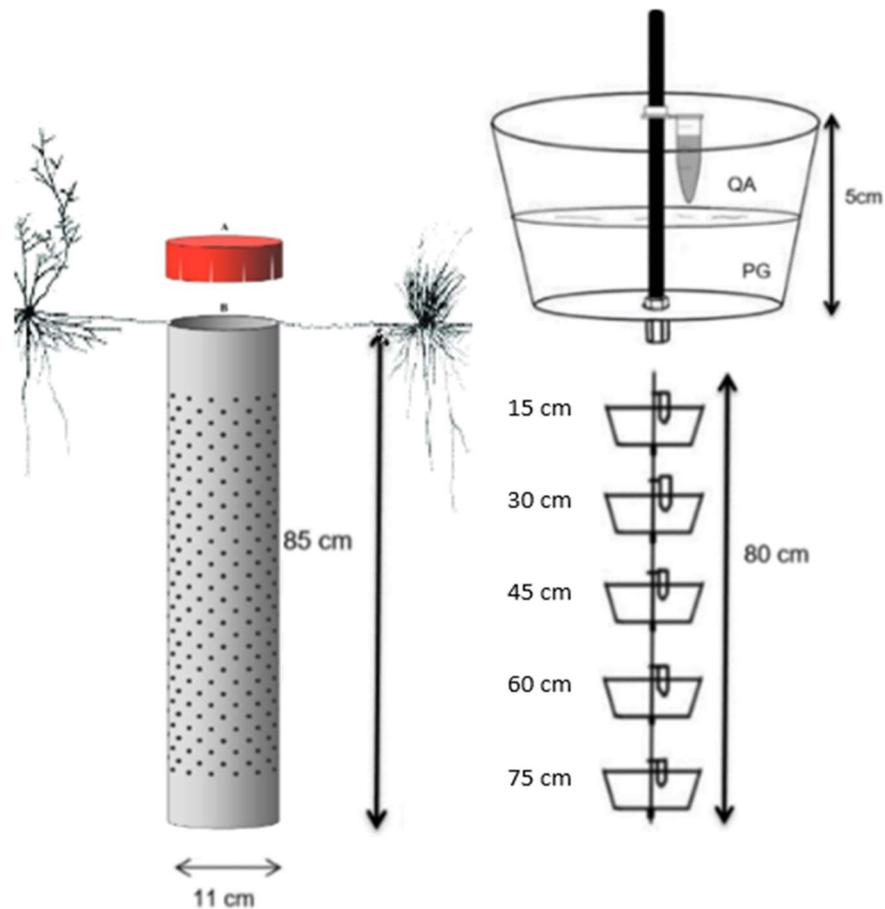


Figura 3. Esquema de la trampa para captura de especímenes (adaptado de López y Oromí, 2010).

alcanzó una profundidad de 60 cm), utilizando una sonda para toma de muestras edafológicas. Una vez colocado el tubo de PVC, se rellenó el hueco circundante con material del propio suelo y se procedió a la instalación de la serie de recipientes con el cebo y el propilenglicol.

El periodo de muestreo abarcó de diciembre de 2018 a noviembre de 2019. Se recolectaron los individuos capturados cada cuatro meses, lo que permitió evaluar las comunidades a lo largo del año: un primer muestreo en otoño e invierno (de diciembre de 2018 a marzo de 2019), otro

muestreo en primavera y verano (de abril a julio de 2019), y un tercer muestreo en verano y otoño (de agosto a noviembre de 2019). En cada muestreo se extrajeron las varillas con todos los recipientes (Figura 4) y se procesó cada uno por separado (clasificando las capturas por profundidades). El contenido de cada recipiente se filtró a través de una malla que retenía los ejemplares separando todos los materiales sólidos del propilenglicol. Cada malla con la fracción sólida se almacenó en tubos de plástico numerados para su posterior procesado.



Figura 4. Extracción de las trampas para la recolección de las muestras. A: trampa cerrada; B, C y D: extracción de la varilla con los cinco recipientes.

3.3 Identificación de ejemplares

Una vez en el laboratorio se separaron los individuos capturados de las partículas de tierra y restos vegetales mediante lavados con etanol al 70% para, a continuación, clasificarlos y contabilizarlos mediante observación directa con la ayuda de un estereomicroscopio *Euromex StereoBlue* trinocular con cámara digital (Figura 5).

Los ejemplares se identificaron como mínimo hasta nivel de orden taxonómico (algunos hasta nivel de especie; información no recogida en la presente memoria) y los individuos de cada grupo provenientes de cada recipiente individual fueron almacenados en tubos Eppendorf con etanol al 70% para su conservación y potencial utilización en futuros estudios, atendiendo especialmente a coleópteros y arañas.



Figura 5. Proceso de clasificación, identificación y contabilización.

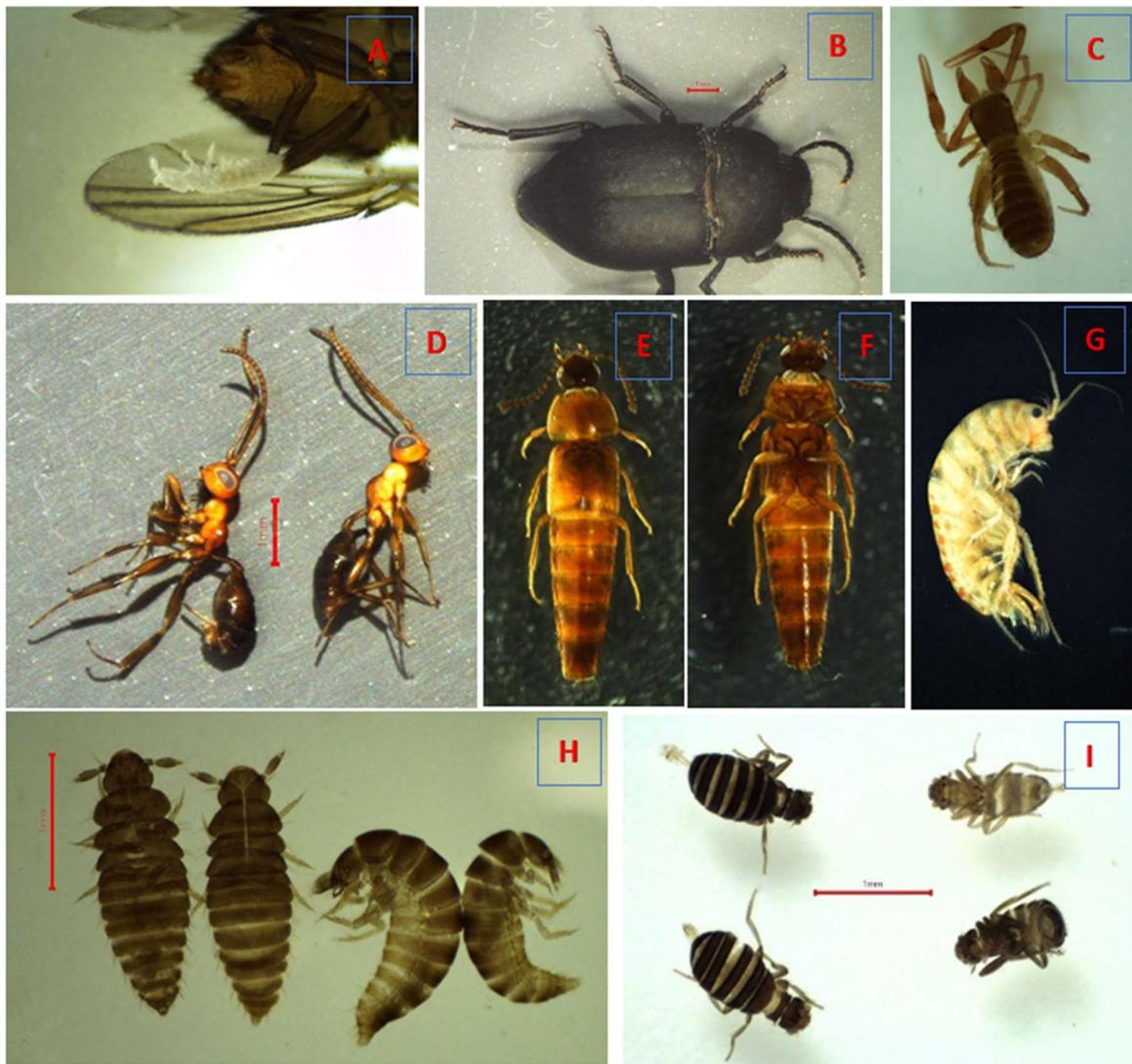


Figura 6. Muestra de fotografías de ejemplares tomadas durante el proceso de clasificación e identificación. A: colémbolo poduromorfo sobre el ala de una mosca; B: coleóptero tenebriónido; C: pseudoescorpión; D: himenópteros parasíticos; E y F: coleóptero en vista dorsal y ventral; G: anfípodo; H: larvas de coleóptero; I: psocópteros.

Muchos ejemplares fueron fotografiados (Figura 6) con la cámara *Euromex CEMEX 5000* con la intención de crear un banco de imágenes de fauna edáfica y también, cuando era necesario, de enviar imágenes a colaboradores para su identificación.

El recuento de ejemplares identificados junto a sus datos de recolección y observaciones fueron rigurosamente registrados en una base de datos del programa Microsoft Excel 2010 (Tabla 2).

Tabla 2. Extracto de la base de datos.

Código de almacena-	Loc.	Fecha	Muestreo	código de grupo	Orden	Familia	Especie	Nº exx.	Observaciones 1	Observaciones 2
378	1619	4.5	29/07/2019	4 HY	Hymenoptera	Formicidae		3	pequeñitas color miel	
380	1620	4.5	29/07/2019	4 HY	Hymenoptera	Formicidae subfa. Formicinae	<i>Lasius cf.</i>	6		
381	1621	4.5	29/07/2019	4 AR	Araneae	Symphytognathidae		2	pequeñas, sin ojos: troglobio,	Dos hembras; uno entero, otro muy deteriorado
382	1622	4.5	29/07/2019	4 IS	Isopoda			2	Desechados	juvenil
383	1623	5.1	29/07/2019	4 CL	Poduromorpha			157	Desechados	
384	1624	5.1	29/07/2019	4 CL	Entomobryomorpha			507	Desechados	
385	1625	5.1	29/07/2019	4 AC o	Acari Oribatida			60	(29 desechado)	
386	1626	5.1	29/07/2019	4 GA	Clase Gastropoda			38	(32 desechados)	babosas con posible vestigio de concha
387	1627	5.1	29/07/2019	4 LE	Lepidoptera			3	larva	
388	1628	5.1	29/07/2019	4 JU	Julidae		<i>Ommatoiulus</i>	1	Desechados	
389	1629	5.1	29/07/2019	4 PS	Pseudoscorpiones			9		
390	1630	5.1	29/07/2019	4 CO	Coleoptera			1	larva campodeiforme	
391	1631	5.1	29/07/2019	4 DE	Dermaptera	Anisolabididae	<i>Euborella annuipes</i>	58	(41 desechados)	
392	1632	5.1	29/07/2019	4 DE	Dermaptera			1		
393	1633	5.1	29/07/2019	4 AC no	Acari no Oribatida			91	(43 desechados)	

3.4 Tratamiento estadístico de los datos

El mismo software, *Microsoft Excel 2010*, permitió un análisis estadístico descriptivo de los datos con el que pudimos calcular y representar la proporción de individuos de cada orden en cada uno de los muestreos y en el periodo completo de estudio.

Para el resto del análisis se hizo uso del lenguaje de programación *R* mediante el entorno de desarrollo integrado *Rstudio* en su versión 3.6.3. Esta herramienta de análisis permitió evaluar, mediante la prueba de Kruskal-Wallis combinada con la prueba de Dunn, diferencias en riqueza (presencia o ausencia de los grupos taxonómicos) y abundancia (número de individuos) atendiendo a las variables: piso bioclimático (laurisilva, bosque termófilo, y cardonal-tabaibal), profundidad de muestreo (0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm, 45-60 cm, y 60-75 cm), tiempo de muestreo (diciembre a marzo, abril a julio, y agosto a noviembre), y manejo del

suelo (agricultura ecológica, agricultura convencional, y vegetación natural).

Mediante *Rstudio* se estimó también el coeficiente de beta-diversidad global y sus componentes haciendo uso de la prueba de Sorensen. Esta prueba proporciona un valor que oscila entre 0 y 1, siendo 1 el valor máximo de disimilaridad, lo que indica que dos comunidades son completamente diferentes en cuanto a su composición. Un valor muy elevado de cualquiera de los componentes de este índice señalaría la actuación de un proceso de reemplazamiento o de anidamiento entre diferentes comunidades (Baselga, 2010).

Con los resultados de la prueba de Sorensen se creó una matriz de ordenamiento utilizando para ello la función *metaMDS* de la librería *vegan*. Las matrices de ordenamiento constituyen un método de distancias, es decir, clasifica las comunidades en función de las variables elegidas, agrupando aquellas categorías que son más similares, y

separando aquellas que son más diferentes (Minchin, 1987).

Una vez creada la matriz de ordenamiento se procedió a su representación mediante de un gráfico de “spider” en el que se muestran las diferencias entre las distintas comunidades agrupadas en función de las distintas categorías de la variable elegida (p. ej. manejo del suelo). La fiabilidad del ordenamiento viene determinada por el p-valor. Valores menores de 0,05 indican que el ordenamiento es un robusto predictor de la distancia ecológica. Valores grandes ($p > 0,05$ o próximos a 1) indican que el ordenamiento no es fiable (Faith *et al.*, 1987).

Finalmente, mediante la función *indval* de la librería *labdsv*, se obtuvo una lista de los grupos taxonómicos que influyeron en mayor medida en el ordenamiento observado denominados “linajes indicadores”. Para cada uno de los grupos taxonómicos evaluados un valor indicador próximo a 1 señala una importancia significativa dentro de la comunidad, mientras que valores próximos a 0 indican que dicho grupo taxonómico no es útil para diferenciar las distintas comunidades (De Cáceres *et al.*, 2012).

4 RESULTADOS

4.1 Análisis global de las comunidades edáficas

4.1.1 Composición a nivel de órdenes

En las 129 muestras analizadas procedentes de las 9 estaciones instaladas se contabilizó un total de aproximadamente 80.000 individuos durante los tres muestreos realizados. Todos los ejemplares encontrados se identificaron como mínimo a nivel de orden, obteniéndose un total de 30 órdenes (ver tabla 4; anexo). Los resultados globales se representan en la Figura 7.

En el gráfico de la Figura 7A se observa cómo el grupo taxonómico más abundante corresponde a los colémbolos (47%), seguido de los himenópteros (15%; principalmente hormigas) y de los ácaros (10%). Júlidos, polidésmidos, isópodos, hemípteros, anfípodos y dipluros aparecieron en abundancias comprendidas entre el 6% y el 2% (~ 1500-5000 individuos). Con presencias en torno al 1% (~ 1000 individuos) se encontraron sínfilos, dípteros, arañas, coleópteros y moluscos pulmonados. El grupo denominado “Otros” recoge individuos de 16 órdenes diferentes poco abundantes.

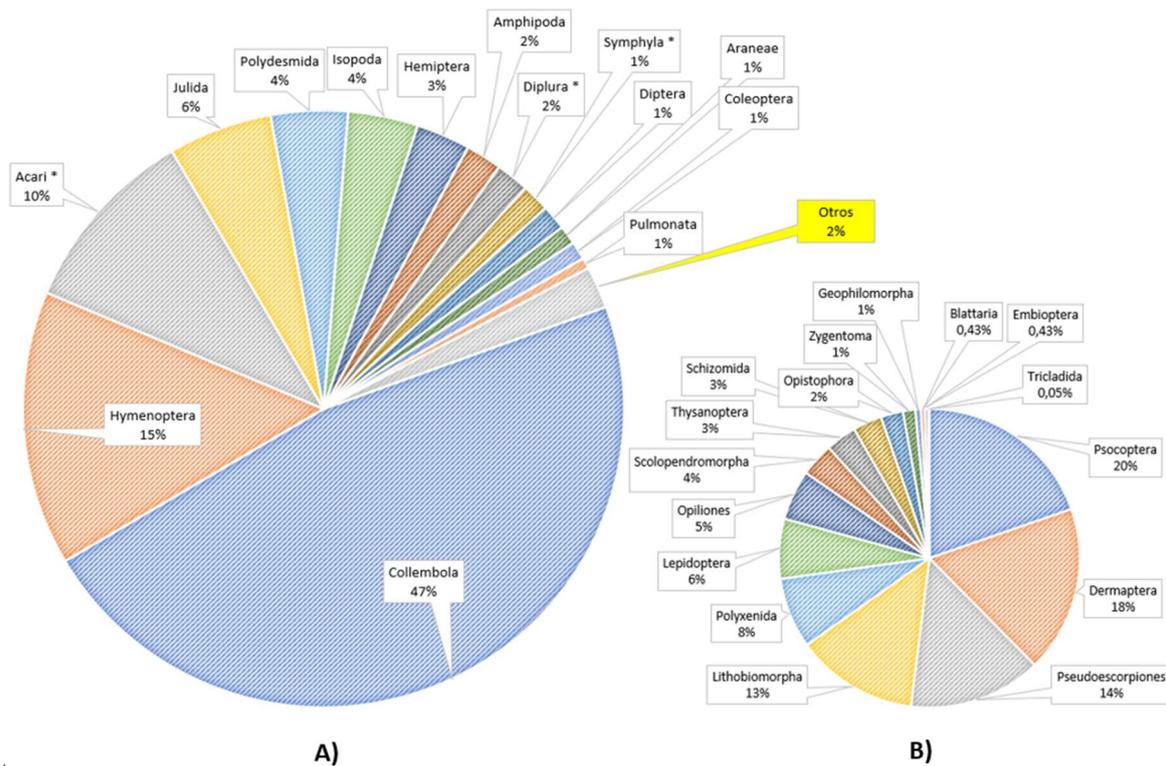


Figura 7. Distribución en % del número de individuos totales de cada orden. A) recoge porcentajes mayores que 0,5; B) amplía la información de los órdenes recogidos en “Otros”. Los grupos señalados con asterisco (*) no corresponden estrictamente a órdenes taxonómicos.

Esta información queda reflejada en la Figura 7B, donde se observa que, de ese 2% llamado “Otros”, el 20% pertenecen a psocópteros y el 18% a dermápteros (~ 350 individuos). Los pseudoescorpiones tienen una abundancia de un 14% (~ 269 individuos) y los litobiomorfos presentan un 13% (~ 248 individuos). Polixénidos, lepidópteros y opiliones presentaron una abundancia entre el 8% y el 5% con su correspondencia entre 150 y 100 individuos. Entre el 4% y el 1% hallamos escolopendromorfos, tisanópteros, esqui-zómidos, opistóforos, zygentomas y

geofilomorfos, cuyo número de individuos varió entre 68 y 11. Por debajo del 1% de abundancia (entre 8 y 1 individuos) se encontraron blatarios, embiópteros y tricládidos (de este último grupo se identificó un solo ejemplar, probablemente de la especie *Caenoplana coerulea*, un platelminto depredador invasor (Suárez *et al.*, 2018).

4.1.2 Efecto del piso bioclimático

En la Figura 8 se recogen los valores de abundancia y riqueza en función de los pisos bioclimáticos. La laurisilva no presenta diferencias significativas con los otros dos pisos bioclimáticos, ni en abundancia ni en riqueza ($p > 0,05$).

Sin embargo, tanto la media de individuos como de órdenes era significativamente inferior en el bosque termófilo en comparación al tabaibal ($p < 0,05$).

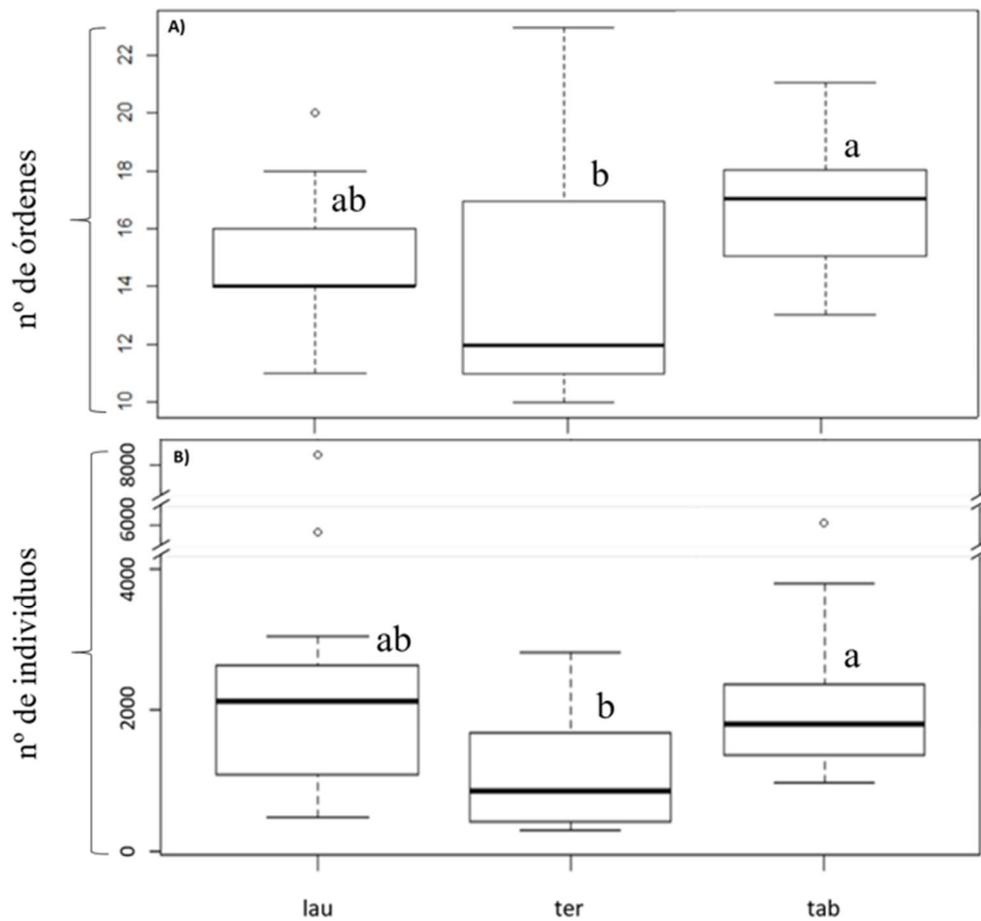


Figura 8. Efecto del piso bioclimático sobre la riqueza (A) y la abundancia (B) de las comunidades; lau: laurisilva. ter: bosque termófilo; tab: cardonal-tabaibal; letras diferentes indican diferencias significativas entre las categorías consideradas, con un p -valor $< 0,05$; líneas gruesas representan la mediana.

4.1.3 Efecto de la profundidad

En la Figura 9 se representa la variabilidad de la abundancia de individuos y de la riqueza de órdenes en función de la profundidad de suelo explorada. Cada intervalo de profundidad incluye todos los pisos bioclimáticos y todos los muestreos.

Se puede observar una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre la primera profundidad (0-15 cm) y la tercera, cuarta y quinta profundidades (30-75 cm) tanto en abundancia como en riqueza. La segunda profundidad no presenta diferencias significativas con otras profundidades.

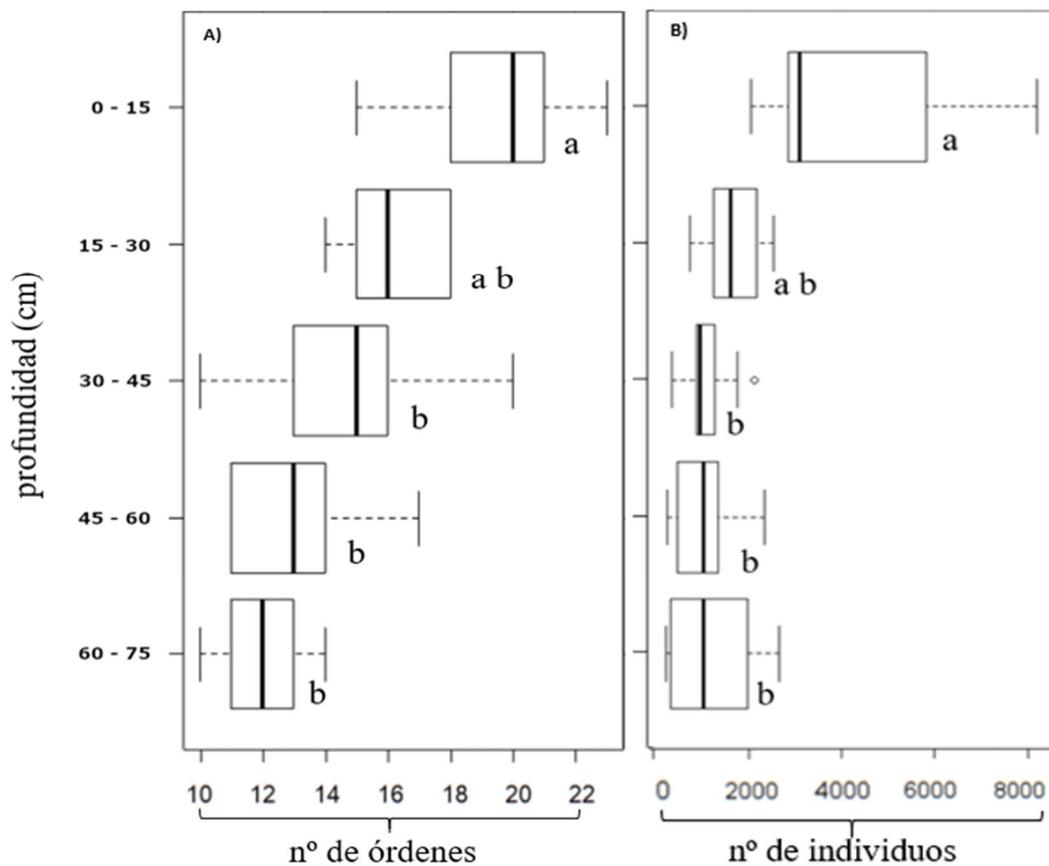


Figura 9. Efecto de la profundidad sobre la abundancia (A) y la riqueza (B) de las comunidades; letras diferentes indican diferencias significativas entre las categorías consideradas, con un p -valor $< 0,05$; líneas gruesas representan la mediana.

4.1.4 Variación temporal

En la Figura 10 se representa la variación temporal en abundancia y riqueza a lo largo del periodo de estudio. La media de abundancia y riqueza es significativamente inferior en el primer muestreo (t1) en comparación al segundo (t2) y tercer muestreos (t3) ($p < 0,05$). Estos dos últimos no presentan diferencias significativas entre sí.

Además, en la Figura 11 podemos observar cómo en cada uno de los tres muestreos realizados en este trabajo el

mayor porcentaje de ejemplares recolectados correspondió a colémbolos, sin embargo, los siguientes grupos en abundancia cambiaron para cada muestreo. Así, en el t1 el segundo grupo en abundancia fue el de los hemípteros seguidos por polidésmidos, isópodos y ácaros; en el t2 el segundo lugar fue para los ácaros seguidos por himenópteros, júlidos y los polidésmidos; mientras que en el t3 el segundo lugar fue para los himenópteros seguidos por ácaros, júlidos e isópodos.

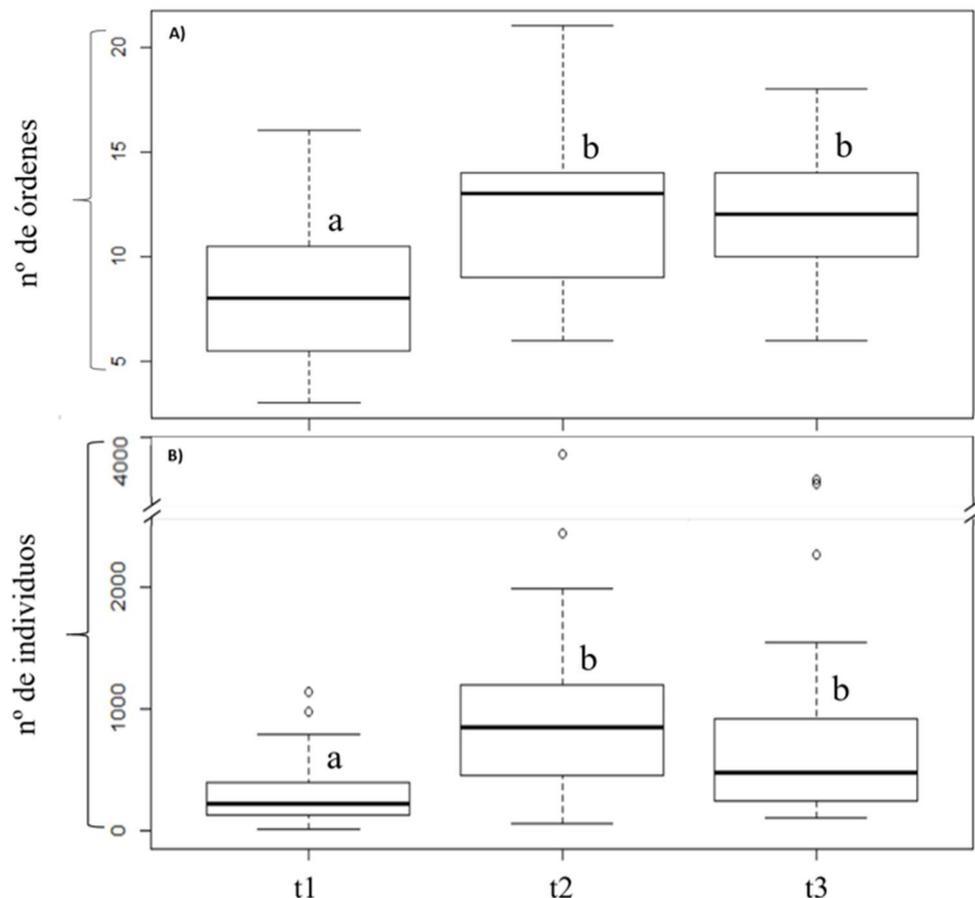


Figura 10. Riqueza (A) y abundancia (B) de cada uno de los tres muestreos (t1, otoño-invierno; t2, primavera-verano; t3, verano-otoño); letras diferentes indican diferencias significativas entre las categorías consideradas, con un p -valor $< 0,05$; líneas gruesas representan la mediana.

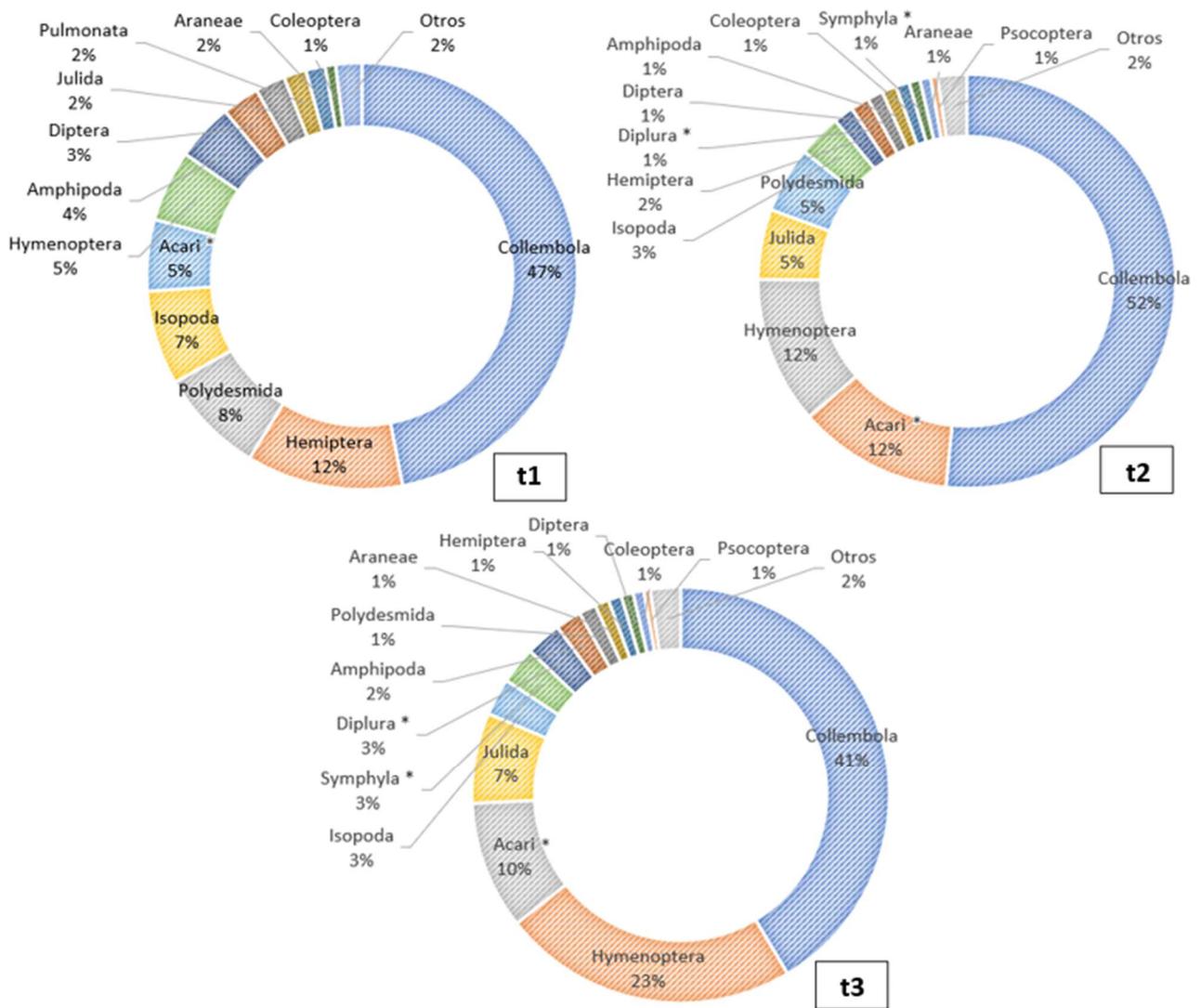


Figura 11. Distribución (en %) del número de individuos de cada uno de los órdenes para el primer muestreo (t1) de diciembre de 2018 a marzo de 2019; el segundo muestreo (t2) de abril a julio de 2019; y el tercer muestreo (t3) de agosto a noviembre de 2019. Los grupos señalados con asterisco (*) no corresponden estrictamente a órdenes taxonómicos.

4.2 Efecto del uso del suelo en las comunidades edáficas

4.2.1 Impacto del tratamiento en la riqueza y en la abundancia

En la Figura 12 se recogen los datos globales de abundancia y riqueza de órdenes atendiendo al tipo de manejo (agricultura convencional, ACO; agricultura ecológica, AEC; y vegetación natural, VNA). Los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas

entre los tres tratamientos ni en abundancia de especímenes ni en riqueza. Se obtuvo un chi-cuadrado de 0.74332 con 2 grados de libertad y un p valor de 0.6896 (> 0.05), lo que indicaría que los datos de los diferentes tratamientos pertenecen a la misma población. El número medio de individuos por estación fue de 3798,2 en ACO, 3216,7 en AEC y 2210 en VNA; mientras que el número medio de órdenes por estación varió desde los 16,5 de AEC hasta los 18,4 de ACO pasando por los 17,3 de VNA.

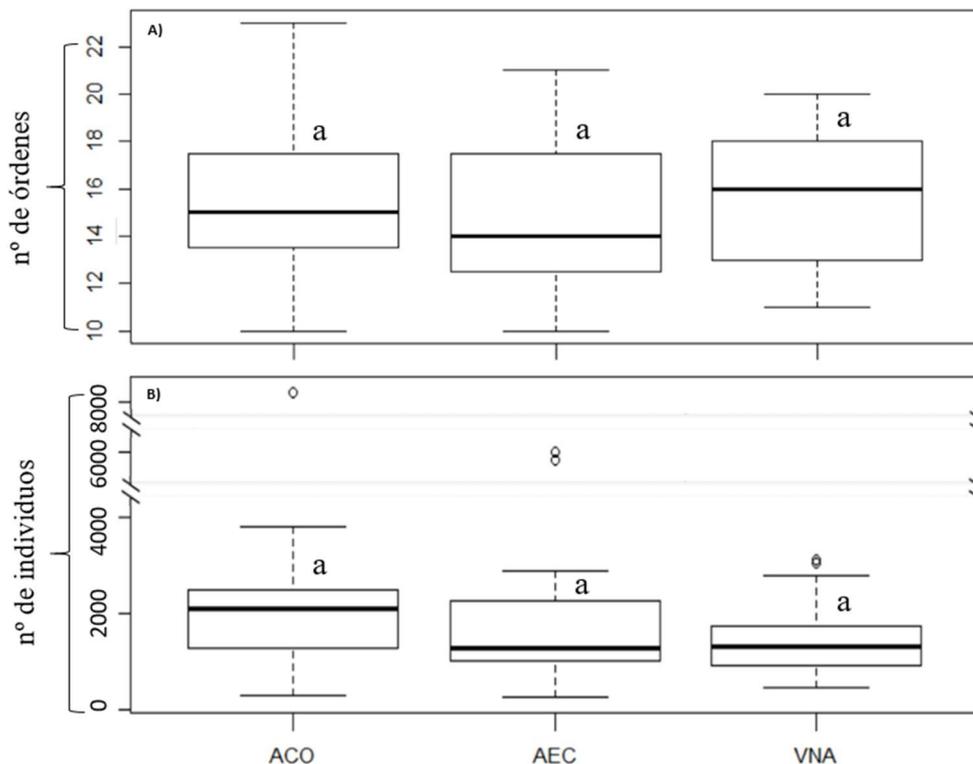


Figura 12. Efecto del uso del suelo sobre la riqueza (A) y la abundancia (B) de las comunidades; ACO: agricultura convencional; AEC: agricultura ecológica; VNA: vegetación natural; letras diferentes indican diferencias significativas entre las categorías consideradas, con un p-valor $< 0,05$; líneas gruesas representan la mediana.

4.2.2 Ordenamiento de las comunidades según el uso del suelo

Mediante el test de Sorensen se estimó el coeficiente de beta-diversidad global con un valor de 0,865 (disimilitud significativa) que resulta de un coeficiente de reemplazamiento de 0,782 y de anidamiento de 0,083. Visto que la mayor parte de la beta-diversidad se explica por fenómenos de reemplazamiento, se procedió a realizar un ordenamiento a partir de las matrices obtenidas por este coeficiente (reemplazamiento) de la prueba de Sorensen en un gráfico *spider*, agrupando los puntos en función del tratamiento del suelo y del piso bioclimático (Figura 13).

El ordenamiento obtenido es significativo ($p = 0,002$), lo que indica que las conclusiones que se tomen del gráfico bidimensional son representativas de la ordenación real de las muestras. Se puede observar cómo las comunidades de VNA están más alejadas de las de ACO que de las de AEC. Las comparaciones por pares de las matrices de disimilitud mostraron que las comunidades de VNA son significativamente diferentes a las de ACO ($p = 0,003$); las comunidades de AEC no son significativamente diferentes a las de VNA ($p = 0,057$); y las comunidades de ACO son significativamente diferentes a las de AEC ($p = 0,027$).

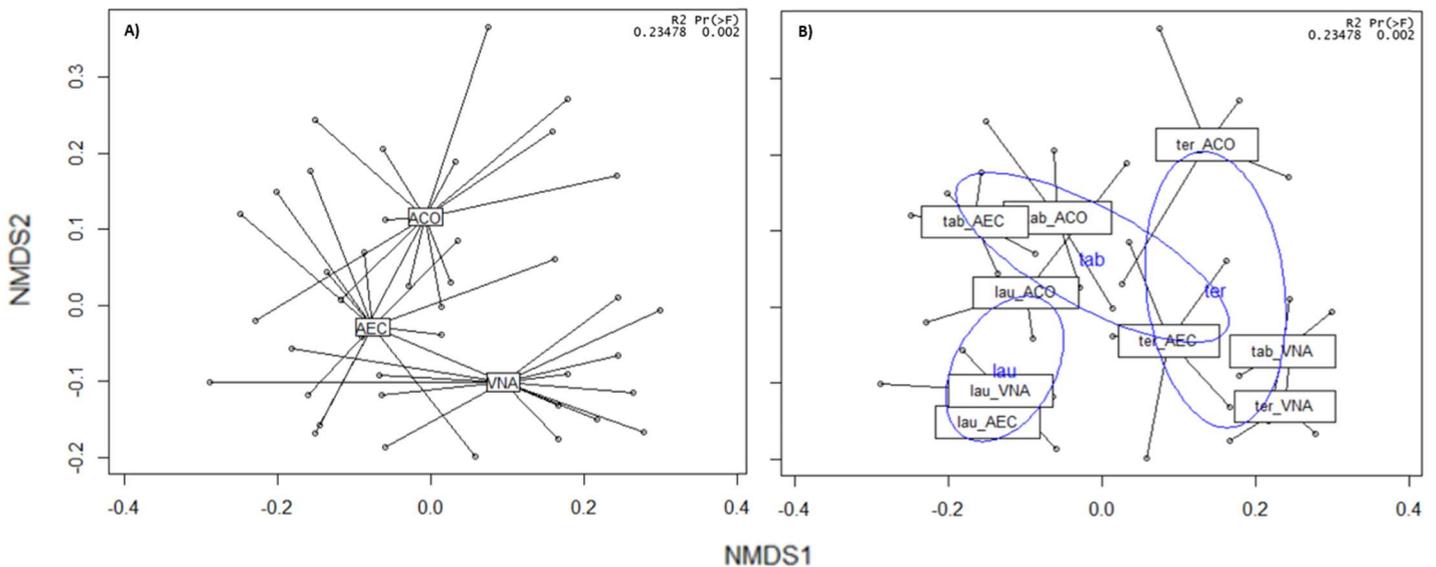


Figura 13. Ordenamiento de las comunidades por efecto del reemplazamiento agrupados los puntos solo por tratamiento del suelo (A) y por piso bioclimático y tratamiento (B); elipses azules superpuestas redundan la agrupación de los puntos por piso bioclimático; ACO: agricultura convencional; AEC: agricultura ecológica; VNA: vegetación natural; Lau: laurisilva; ter: bosque termófilo; tab: cardonal-tabaibal.

4.2.3 Linajes indicadores de cada tratamiento

En la Tabla 3 se recogen los órdenes que tienen una importancia significativa según el uso del suelo y que consecuentemente influyen en las diferencias entre comunidades.

En cuanto a riqueza, los sínfilos, pulmonados y esquizómidos son un grupo indicador para la zona agrícola ecológica, mientras que para la zona agrícola convencional son órdenes indicadores los polidésmidos y dermápteros.

En vegetación natural lo son los polixénidos, dipluros y blatarios (Tabla 3).

Los grupos indicadores, atendiendo a datos de abundancia de especímenes, son inexistentes en la zona agrícola convencional. No obstante, encontramos grupos indicadores en la zona agrícola ecológica: colémbolos, litobiomorfos y esquizómidos. Así mismo, dipluros, polixénidos, blatarios, pseudoescorpiones y ácaros son grupos indicadores en la vegetación natural (Tabla 3).

Tabla 3. Grupos taxonómicos que influyeron en mayor medida en el ordenamiento observado para cada tratamiento del suelo; los grupos señalados con asterisco () no corresponden estrictamente a órdenes taxonómicos.*

Tratamiento	Orden	V. indicador	p-valor
<i>Atendiendo al número de órdenes (riqueza):</i>			
AEC	Symphyla*	0,4205	0,017
	Pulmonata	0,408	0,015
	Schizomida	0,4	0,002
ACO	Polydesmida	0,3785	0,041
	Dermaptera	0,2722	0,049
VNA	Polyxenida	0,6154	0,001
	Diplura*	0,4688	0,006
	Blattaria	0,2308	0,03
<i>Atendiendo al número de especímenes (abundancia):</i>			
AEC	Collembola	0,486	0,009
	Lithobiomorpha	0,4824	0,006
	Schizomida	0,4	0,001
VNA	Diplura*	0,8139	0,001
	Polyxenida	0,6154	0,001
	Pseudoescorpiones	0,5381	0,029
	Acari*	0,491	0,026
	Blattaria	0,2308	0,029

5 DISCUSIÓN

Actualmente, debido al escaso número de publicaciones sobre la edafofauna en canarias es difícil proporcionar valores de abundancia media en el suelo para los diferentes grupos de invertebrados. En general resulta complejo obtener esa información debido a la gran variabilidad espacial y temporal que estos grupos experimentan, a las diferencias entre los métodos de muestreo (Jeffery *et al.*, 2010), y a los escasos inventarios existentes de organismos del suelo (Barrios, 2007).

La similitud en riqueza y abundancia entre la laurisilva y los otros dos pisos bioclimáticos, a pesar de las diferentes condiciones ambientales, puede explicarse dada la gran variedad de invertebrados que propicia la existencia de grupos capaces de desarrollarse en diferentes ambientes, reemplazados unos por otros. No obstante, la riqueza y abundancia en el bosque termófilo parece ser significativamente menor que en el cardonal-tabaibal, lo que puede apuntar a una mayor incidencia de las actividades antrópicas (agricultura y ganadería) y de degradación de los suelos en el primer caso (Fernández-Palacios *et al.*, 2008).

Los resultados obtenidos sobre la distribución de los ejemplares en función de la profundidad muestran una clara

diferencia entre los primeros 15 cm y el resto del perfil del suelo, con una cantidad de individuos y de órdenes superior a la encontrada en el resto de las profundidades. Estos resultados coinciden con los observados en estudios similares sobre la distribución vertical de la edafofauna, cuyas conclusiones manifiestan la mejor predisposición de las capas superficiales del suelo para la presencia de organismos. Esto puede potencialmente deberse a que los primeros centímetros del suelo acumulan mayor porcentaje de materia orgánica, generalmente presentan una mayor porosidad y mejor agregación, y unas mejores condiciones de humedad y temperatura. Estas características facilitan la obtención de nutrientes para las comunidades edáficas y, en definitiva, representan un hábitat más favorable para el desarrollo de las mismas (Coral y Bonilla, 1998). Los resultados obtenidos en este apartado también pueden asociarse a la migración vertical de individuos desde otros puntos del perfil del suelo. Este fenómeno se da cuando las diferentes especies superficiales o que habitan en zonas más profundas migran hacia otros horizontes del perfil del suelo buscando condiciones ambientales más favorables circunstancial o estacionalmente (Villani *et al.*, 1999).

En cuanto a la variación temporal, en el primer muestreo (otoño-invierno) las

medias de abundancia y riqueza fueron significativamente menores que las del segundo (primavera-verano) y tercer muestreo (verano-otoño). Esta diferencia puede parcialmente deberse a que el primer periodo de captura se desarrolló temporalmente más cercano al momento de perforación del suelo y colocación de las trampas, provocando una perturbación notable del sistema edáfico que tardará un tiempo en alcanzar de nuevo el equilibrio. Sin embargo, pensamos que existe también una potencial explicación asociada a la fluctuación de las condiciones ambientales a lo largo del año (Tabaglio *et al.*, 2009). En los meses de invierno la humedad ambiental es mayor y la flora es más exuberante que en el resto de las estaciones, lo que genera un microclima que permitiría la migración de la fauna edáfica a la superficie. Este fenómeno se reduce en el resto de las estaciones, en las que se merma la humedad y aumenta la insolación, induciendo a los invertebrados a buscar refugio en el suelo (Menta *et al.*, 2018). Esto puede explicar el gradiente de abundancia de especímenes y riqueza de órdenes desde el segundo muestreo (máximo) hasta el primer muestreo (mínimo).

Por último, con respecto a la variable principal de este estudio, la influencia que tiene la actividad agrícola sobre las

comunidades edáficas, los datos obtenidos determinan que en las zonas estudiadas la agricultura no tiene un impacto significativo en términos cuantitativos sobre las mismas. Estos resultados no coinciden con los publicados por otros autores que observan una mayor biodiversidad y una mayor abundancia en las zonas naturales (p.ej. bosques y pastos) que en los suelos cultivados, atribuyéndolo al impacto negativo de las diversas labores agrícolas (p.ej. uso de pesticidas) sobre la edafofauna (Menta *et al.*, 2018). Tampoco coinciden con diversos estudios que comparan la fauna edáfica en explotaciones agrícolas convencionales y ecológicas, y que muestran mayores niveles de abundancia y riqueza de invertebrados en los suelos bajo manejo ecológico (Bengtsson *et al.*, 2005; Hole *et al.*, 2005). Las diferencias pueden radicar en una mayor conexión de las diferentes áreas de manejo en ambientes insulares (mayor cercanía), lo que podría facilitar los procesos de colonización por diferentes grupos taxonómicos.

A pesar de la ausencia de diferencias aparentes en cuanto al número de órdenes, sí existen diferencias en cuanto a cuáles son los grupos taxonómicos encontrados en las diferentes comunidades. Además, las diferencias entre las comunidades parecen también estar influenciadas por el

lugar donde se recolectaron (efecto sitio-dependiente; p.ej. tipo de cultivo, años de manejo, etc.).

En concordancia con los resultados de nuestro trabajo, diferentes estudios determinan que las comunidades de las zonas naturales presentan un mayor grado de similitud con las áreas de agricultura ecológica que con las de agricultura convencional (Bengtsson *et al.*, 2005; Menta, 2012). Esto puede deberse a que en la agricultura convencional la intensificación de la actividad, así como la implantación de monocultivos, producen un deterioro pronunciado de las propiedades y la calidad del suelo, haciendo de éste un hábitat más hostil de cara al establecimiento de algunos grupos de organismos de la fauna edáfica (Bengtsson *et al.*, 2005; Menta, 2012). En este sentido Hole *et al.* (2005), mostraron que los insectos depredadores tenían una abundancia mayor en zonas de manejo ecológico, mientras que insectos no depredadores tenían una abundancia menor que en zonas de manejo convencional.

Los linajes indicadores encontrados en los diferentes usos del suelo difieren en cuanto a la proporción de grupos caracterizados por la predominancia de especies introducidas (en adelante grupos introducidos) y grupos caracterizados por la predominancia de especies nativas

(grupos nativos), ambos según el Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias (Gobierno de Canarias, 2020).

En las zonas de agricultura convencional solo encontramos grupos introducidos (polidésמידos y dermápteros), en las zonas de agricultura ecológica existe cierto equilibrio entre grupos indicadores introducidos (sínfilos, esquizómidos) y nativos (litobiomorfos), mientras que en las zonas de vegetación natural aparecen destacados grupos nativos (blatarios, polixénidos). Es decir, se establece un gradiente de especímenes invasores entre tratamientos, que puede relacionarse con la agresividad de las prácticas de manejo: en la agricultura convencional se usan pesticidas y herbicidas, fertilizantes químicos y labranza mecanizada, mientras que en la agricultura ecológica se realiza una mayor aportación de materia orgánica, se minimiza el laboreo y se mantiene el estrato herbáceo. Por último, en las zonas de vegetación natural no se realizan actividades que interfieran en la estabilidad del sistema edáfico.

6 CONCLUSIONES

1. De los tres pisos bioclimáticos evaluados, el bosque termófilo presenta los menores valores medios de abundancia y riqueza de órdenes.
2. La mayor riqueza y abundancia de individuos se encuentra en la capa superficial del suelo (0-15 cm), asociada generalmente a unas mejores condiciones edáficas.
3. Las comunidades edáficas experimentan cambios a lo largo del año, tanto en el número de individuos como en la diversidad de órdenes, incrementándose ambos valores en las estaciones más cálidas.
4. La actividad agrícola convencional o ecológica no parece haber tenido, en comparación con los suelos que presentan vegetación natural, un efecto significativo en la riqueza y abundancia de individuos, pero sí en la composición de las comunidades edáficas. Así, a nivel de composición las zonas de agricultura ecológica presentaron una elevada semejanza con las zonas de vegetación natural, lo que podría estar asociado a prácticas de manejo agrícola que no generan una alteración significativa del sistema edáfico.
5. En general, en los ambientes más alterados de manejo convencional los órdenes con predominancia de especies

nativas han sido desplazados por órdenes caracterizados por la predominancia de especies introducidas, mejor capacitados para soportar estas condiciones, mientras que en los ambientes naturales y en menor medida en los ambientes de manejo ecológico se ha conservado la fauna nativa.

6. La metodología utilizada, basada en trampas de caída para el estudio del MSS, tiene como ventaja que permite un análisis temporal de las poblaciones y permite separar las capturas por profundidad. Como inconveniente se encuentran el tiempo que se tarda en procesar las muestras en laboratorio y los potenciales efectos selectivos que presenta la utilización de cebos.

Este trabajo constituye una primera aproximación a los estudios de la fauna edáfica bajo diferentes manejos en la isla de Tenerife. La enorme variabilidad de las condiciones agroambientales que pueden influir en el efecto de las prácticas agrícolas en los organismos del suelo implica que no se deban extraer conclusiones extrapolables a partir de un solo estudio, y apunta a la necesidad de profundizar en esta línea de investigación que podría tener una enorme repercusión en el conocimiento y conservación de los ecosistemas insulares.

CONCLUSIONS

1. Thermophilous woodlands has the lowest abundance and richness average values of the three assessed climatophilous communities.

2. Highest richness and abundance are found in the soil surface layer (0-15 cm), usually associated with better soil conditions.

3. Soil communities change throughout the year in number of individuals and diversity of orders, increasing both values in the warmer seasons.

4. Conventional or ecological agricultural activity do not appear to have had a significant effect on the richness and abundance of individuals compared to soils with natural vegetation, but they do have it on the composition of the soil communities. Thus, at the composition level, the organic farming areas had high resemblance to areas of natural vegetation, which could be associated with agricultural management practices that do not generate significant alterations of the soil system.

5. In general, in the most altered environments of conventional agriculture,

orders with predominance of native species have been displaced by orders of invasive species, better able to withstand these conditions, while in natural environments and to a lesser extent in ecological management environments, native fauna has been preserved.

6. Used methodology, based on pitfall traps for the MSS, has as advantage a temporary analysis of populations and allows to separate the catches by depth. As inconvenience, it takes a lot of laboratory time to process samples and a potential selective effect of baits.

This work is a first and modest approach to the studies of soil fauna under different managements on Tenerife island. The huge variability of agri-environmental conditions that can influence on the effect of agricultural practices on soil organisms means that conclusions that could be extrapolated should not be drawn from a single study, and points to the need to deepen this line of research that could have a huge impact on the knowledge and conservation of island ecosystems.

7 BIBLIOGRAFÍA

- André, H. M., Noti, M. I., & Lebrun, P. (1994). The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation*, 3(1), 45-56. <https://doi.org/10.1007/BF00115332>
- Arribas, P., Andújar, C., Hopkins, K., Shepherd, M., & Vogler, A. P. (2016). Metabarcoding and mitochondrial metagenomics of endogean arthropods to unveil the mesofauna of the soil. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9), 1071-1081. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12557>
- Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64(2), 269-285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>
- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1), 134-143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>
- Bengtsson, J., Ahnström, J., & Weibull, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 261-269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x>
- Briones, M. J. I. (2014). Soil fauna and soil functions: A jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*, 2(APR), 1-22. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00007>
- Brussaard, L., de Ruiter, P. C., & Brown, G. G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(3), 233-244. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>
- Coral, D. M., & Bonilla, C. R. (1998). *Macrofauna del Suelo en la Cuenca Alta del Lago*. 48(3).
- De Cáceres, M., Legendre, P., Wiser, S. K., & Brotons, L. (2012). Using species combinations in indicator value analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(6), 973-982. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00246.x>
- De Vries, F. T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M. A., Bjørnlund, L., Jørgensen, H. B., Brady, M. V., Christensen, S., De Ruiter, P. C., D'Hertefeldt, T., Frouz, J., Hedlund, K., Hemerik, L., Gera Hol, W. H., Hotes, S., Mortimer, S. R., Setälä, H., Sgardelis, S. P., ... Bardgett, R. D. (2013). Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(35), 14296-14301. <https://doi.org/10.1073/pnas.1305198110>
- Faith, D. P., Minchin, P. R., & Belbin, L. (1987). Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. *Vegetatio*, 69(1-3), 57-68. <https://doi.org/10.1007/BF00038687>
- Fernández-Palacios, J. M., Otto, R., Domingo Delgado, J., Arévalo, J. D., Naranjo, A., González Artiles, F., Morici, C., & Barone, R. (2008). Los bosques termófilos de Canarias. *Proyecto LIFE04/NAT/ES/000064, Excmo Cabildo Insular de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife, España*, 1-202.
- Gobierno de Canarias. (s. f.). *Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias*. Recuperado 4 de septiembre de 2020, de <https://www.biodiversidadcanarias.es/biota/>
- Guerra-García, J. A. (2009). *Evaluación de la degradación de los suelos naturales de la isla de Tenerife: secuencias edáficas evolutivas y regresivas*. Tesis doctoral. Universidad de La Laguna.
- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., & Evans, A. D. (2005). Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122(1), 113-130. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.07.018>

- IUSS Working Group WRB. (2015). Base Referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015. En *Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelo 106*. <http://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>
- Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Römbke, J., & van der Putten, W. H. (2010). Soil Soil. En *Chart* (Vol. 164, Número 2). [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(99\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00028-2)
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K., & Swift, M. J. (2008). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 685-701. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178>
- López, H., & Oromí, P. (2010). A pitfall trap for sampling the mesovoid shallow substratum (MSS) fauna. *Speleology Notes*, 2, 7-11. <https://doi.org/10.5563/SPBN.V2I0.19>
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S., & Valantin-Morison, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 43-62. <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>
- Menta. (2012). Soil Fauna Diversity – Function, Soil Degradation, Biological Indices, Soil Restoration. *Intech, i(tourism)*, 13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/57353>
- Menta, C., Conti, F. D., Pinto, S., & Bodini, A. (2018). Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators*, 85, 773-780. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.030>
- Minchin, P. R. (1987). An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. *Vegetatio*, 69(1-3), 89-107. <https://doi.org/10.1007/BF00038690>
- Suárez, D., Martín, S., & Naranjo, M. (2018). First report of the invasive alien species *Caenoplana coerulea* Moseley, 1877 (Platyhelminthes, Tricladida, Geoplanidae) in the subterranean environment of the Canary Islands. *Subterranean Biology*, 26, 67-74. <https://doi.org/10.3897/SUBTBIOL.26.25921>
- Swift, M. J., Heal, O. W., & Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press, Berkeley.
- Swift, M. J., Izac, A. M. N., & Van Noordwijk, M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - Are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104(1), 113-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.013>
- Tabaglio, V., Gavazzi, C., & Menta, C. (2009). Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize. *Soil and Tillage Research*, 105(1), 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.06.006>
- Villani, M., Allee, L., Díaz, A., & Robbins, P. (1999). Adaptive Strategies of Edaphic Arthropods. *Ecology*, 62(3), 875-875. <https://doi.org/10.2307/1937759>
- WRB. (2006). World Reference Base for Soil Resources. En *Encyclopedia of Soil Science, Third Edition*. <https://doi.org/10.1081/e-ess3-120053850>

8 ANEXO

Tabla 4. Número de individuos de cada orden (columnas: **AC**, acari*; **AP**, amphipoda; **AR**, araneae; **BL**, blattaria; **CL**, collembola; **CO**, coleoptera; **DE**, dermaptera; **DI**, diptera; **DU**, diplura*; **EM**, embioptera; **GE**, geophilomorpha; **HE**, hemiptera; **HY**, hymenoptera; **IS**, isopoda; **JL**, julida; **LE**, lepidoptera; **LI**, lithobiomorpha; **OP**, opiliones; **OT**, opisthophora; **PC**, psocoptera; **PD**, polydesmida; **PS**, pseudoescorpiones; **PU**, pulmonata; **PX**, polyxenida; **SL**, symphyla*; **SP**, scolopendromorpha; **SZ**, schizomida; **TP**, thysanoptera; **TR**, trichloridida; **ZY**, zygentoma) recolectados en cada profundidad (columna **P**: 1, de 0 a 15 cm; 2, de 15 a 30 cm; 3, de 30 a 45 cm; 4, de 45 a 60 cm; 5, de 60 a 75 cm), de cada tratamiento (columna **T**: 1, agricultura ecológica; 2, agricultura convencional; 3, vegetación natural) de cada piso bioclimático (columna **B**: 1, laurisilva; 2, bosque termófilo; 3, cardonal-tabaibal) en los tres muestreos (columna **t**: t1, otoño-invierno; t2, primavera-verano; t3, verano-otoño); los grupos señalados con asterisco (*) no corresponden estrictamente a órdenes taxonómicos.

t	B	T	P	AC*	AP	AR	BL	CL	CO	DE	DI	DU*	EM	GE	HE	HY	IS	JL	LE	LI	OP	OT	PC	PD	PS	PU	PX	SL*	SP	SZ	TP	TR	ZY	Total
1	1	1	1	64		4		50	3	2	7				778	24	27	15	1	1			161		3								1140	
1	1	1	2	20		1		49	7		4				243	2	8	7					36										377	
1	1	1	3			2		58			1				142		9	3					13										228	
1	1	1	4	31				110	1						44		4	5					8										203	
1	1	1	5	20		2		275	1		2				15		2	3															320	
1	1	2	1	3				160	16		15				26	54	194	32		2			253		34								789	
1	1	2	2	20		2		214	7		6				20	11	3	7					74		1				1				366	
1	1	2	3	15				250	1		4				30	1	16						84										401	
1	1	2	4	33				180	2		5				50	8	8						42										328	
1	1	2	5	10				98			5				30	15	2						62		4								226	
1	1	3	1	43	111	19		48	4		38				2	83	46				18	9	18		28						2		469	
1	1	3	2		1	2	1	14	2		4					4	10						1	1	1								41	
1	1	3	3	4		1		22			3				2		15																	47
1	1	3	4	7				5			3						12												4					31
1	1	3	5					5			1						2						1											9
1	2	1	1	50	56	20		60	4		18				156	58	11				2		11		20								466	
1	2	1	2			4		11							9		1							1	1								27	
1	2	1	3					2							2																			6
1	2	1	4			6									2	5										1							14	
1	2	1	5			1		85							1	1									1								89	
1	2	2	1	1		17		12	6		27				13	8	1	2	10	1	1		8	1									108	
1	2	2	2	1				200	2		2						1				2	1		1						5			215	
1	2	2	3					170			1	30											1							2			204	
1	2	2	4			1		117				20																	3				141	
1	2	2	5					40			3															1		3	2				49	
1	2	3	1	87		47		320	11		29				34	95	4	1			27		5										660	
1	2	3	2	22		5		218	3		6				32	5	1						1										293	
1	2	3	3	13		2		130							15	2																	1	163
1	2	3	4	5				75							16	2																		98
1	3	1	1		43	5		75	3	11	14		2		23	241	26	2	1		1		135		100								682	
1	3	1	2		5	2		130			19				5	7		1					18		1								188	
1	3	1	3	25				100		7	10				9	9	1						18		1								180	
1	3	1	4	15				100		7	4				1	1	11						12		1								152	
1	3	1	5	30		2		100		5	5				15	8							28										193	
1	3	2	1	30	331	7		150	7	11	33				5	114	188	45	1	7	1		35		13							978		
1	3	2	2	10		2	4	420			13				6	7	4																466	
1	3	2	3		1	2		420			2				6	6	1									1							439	
1	3	2	4			2		320			2				5		1																330	
1	3	2	5					330							1	8	1				1												341	
1	3	3	1			15		280	18		49				1	47	12	8	1	3						1						1	436	
1	3	3	2	80		5		265	1		15				18	4	2							1									398	
1	3	3	3	23		1		168	1		6				1	14	3				1				2								220	

