

Cambios en la presencia de especies de oribátidos (*Acarina*, *Oribatida*) asociados a la fertilización con purín porcino en clima Mediterráneo seco

Haydée Cugno¹, Àngela D. Bosch-Serra^{2,*}, Jordi Orobitg³, M. Rosa Yagüe² y Francesc Domingo-Olivé⁴

¹ Cátedras de Bioestadística I y II, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 299, Córdoba, Argentina

² Departamento de Química, Física, Ciencias Ambientales y del Suelo, Universidad de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure 191, E-25198 Lleida, España

³ Investigador independiente, Calle Església 14, E-08692, Puig-Reig, Barcelona, España

⁴ IRTA Mas Badia, Estación Experimental Agrícola Mas Badia. E-17134, La Tallada d'Empordà, Girona, España

Resumen

En sistemas agrícolas de secano, la sostenibilidad de las prácticas de fertilización con productos de origen orgánico requiere de indicadores que avalen su idoneidad. Los ácaros oribátidos, por su ciclo de vida y como transformadores de la materia orgánica, se presentan como potenciales indicadores biológicos. En este experimento se realiza un estudio de las especies de ácaros oribátidos presentes en un ensayo de fertilización (un tratamiento con purín porcino a la dosis de 161 kg N·ha⁻¹ y un control) establecido doce años antes. El experimento, bajo clima Mediterráneo seco, se implementó en secano y siguiendo una rotación de trigo-cebada. Se realizaron tres muestreos para la identificación de las especies de oribátidos presentes a lo largo del ciclo de la cebada (octubre, marzo y junio). Se identificaron cuatro especies, pero no hubo diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a los índices de diversidad o dominancia. No obstante, la mayor abundancia de oribátidos en las parcelas con aplicación de purín fue significativa, resultado que se asocia a un incremento significativo del número de individuos de *Oribatula* (*Zygoribatula*) *excavata*. La mayor presencia de esta especie, sin detrimento del resto de especies, puede considerarse un indicador favorable de la sostenibilidad de la práctica de fertilización adoptada. Ello avalaría la ausencia de impactos negativos en la salud del suelo cuando se aplican dosis de purines por debajo del umbral máximo de N (proveniente de fuentes orgánicas) establecido para zonas vulnerables.

Palabras clave: Bioindicadores, cereal de invierno, deyecciones ganaderas, índices de abundancia y dominancia.

* Autor para correspondencia: angela.bosch@udl.cat

Cita del artículo: Cugno H., Bosch-Serra À.D., Orobitg J., Yagüe M.R., Domingo-Olivé F. (2024). Cambios en la presencia de especies de oribátidos (*Acarina*, *Oribatida*) asociados a la fertilización con purín porcino en clima Mediterráneo seco. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 120(1): 2-12. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.022>



Oribatid species under field slurry fertilization

Abstract

In rainfed agricultural systems, the sustainability of fertilization practices with products of organic origin needs indicators that guarantee their suitability. Oribatid mites, because of their growth characteristics and their function as organic matter transformers, are potential biological indicators. A study on the presence of oribatid mite species in a fertilization experiment (a treatment with pig slurry at a dose of 161 kg N·ha⁻¹ and a control) was carried out. Under a dry Mediterranean climate, the experiment was established twelve years ago. It included a rotation of wheat-barley under rainfed conditions. During the barley's cropping season (October, March and June), three soil samples were taken for the identification of the number of individuals for the different oribatid species present. Four species were found, but there were no significant differences in diversity or dominance between treatments. However, a significantly higher abundance of oribatids was found in plots with slurry application, linked to a significant increment of *Oribatula (Zygoribatula) excavata*. The higher presence of this species, with no detriment to the rest, can be considered a positive indicator regarding the sustainability of this fertilization practice. In other words, it endorses the absence of negative impacts on soil health when the applied slurry rate was below the limit for N of organic origin established in N vulnerable zones.

Keywords: Bioindicators, diversity index, dominance index, livestock effluents, winter cereal.

Introducción

Los ácaros oribátidos son un grupo diverso de ácaros terrestres de pequeño tamaño, generalmente entre 200 y 800 µm (Erickson y Platt, 2013) que se localizan mayoritariamente en los horizontes superficiales del suelo (Siepel y de Ruyter-Dijkman, 1993). La variedad de sus hábitos alimentarios (macrofitófagos, microfitófagos y panfitófagos) influye en la descomposición de los residuos vegetales y de la materia orgánica en general, en la dinámica de nutrientes en el suelo y en la propia pedogénesis (Seniczak, 2021). También se caracterizan por su baja fecundidad, algunas especies pueden reproducirse por partenogénesis además de presentar anfigonía (Norton et al., 1993). Su desarrollo es lento, estimándose que el tiempo medio de huevo a adulto oscila de meses a dos años (Luxton, 1981), pero su vida adulta es relativamente larga (Gergócs y Hufnagel, 2009), llegando incluso a alcanzar ciclos de vida de siete años en climas fríos (Cannon y Block, 1988). Los oribátidos pueden clasificarse como sedentarios puesto que su velocidad me-

dia de desplazamiento se sitúa en 1 cm por día (Ojala y Huhta, 2001). El hecho de que su dispersión sea lenta favorece que la composición de la comunidad sea estable. Además, la falta de estructuras anatómicas específicas para dispersarse rápidamente (alas) implica que no puedan escapar fácilmente de impactos negativos o condiciones de estrés. Así pues, las características descritas permiten apuntar a los ácaros oribátidos como buenos bioindicadores de los cambios en las propiedades del suelo asociados a la actividad humana (Gergócs y Hufnagel, 2009; Queralt et al., 2014; Menta y Remelli, 2020).

En el ámbito de la sostenibilidad de los sistemas agrarios, la Política Agrícola Común (COM/2020/381 final) propone cambios en el manejo agrícola para lograr los objetivos del Pacto Verde (COM/2019/640 final). No obstante, los cambios hacia prácticas agrícolas sostenibles necesitan sustentarse en indicadores. Uno de los ámbitos de desarrollo de indicadores es el relacionado con el mantenimiento de la fertilidad del suelo, tanto física-química como biológica.

La hipótesis que se formula en esta investigación es que la utilización de purín porcino no tratado con desinfectantes (fungicidas o bactericidas), a la dosis máxima establecida ($<170 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) para zonas vulnerables a la contaminación de las aguas subterráneas por la presencia de nitratos (Council Directive 91/676/EEC; Real Decreto 47/2022), favorece tanto la abundancia como la diversidad de especies de ácaros oribátidos. El objetivo final del trabajo es establecer qué especies de oribátidos pueden ser indicadoras de la aplicación sostenible de purines y, en consecuencia, su presencia pueda ser introducida en el grupo de índices de buenas prácticas.

Material y métodos

Ubicación y características del experimento

El experimento se estableció en 2001 en la Tallada d'Empordà, provincia de Girona ($42^{\circ} 03' 15'' \text{ N}$, $03^{\circ} 03' 46'' \text{ E}$), a una altitud de 17 m s.n.m. El suelo se clasificó como Oxyaquic Xerofluvent (Soil Survey Staff, 2014). El horizonte cultivado (0-0,3 m) presenta una textura franca (clasificación USDA) con porcentajes de arena, limo y arcilla del 45,8 %, 41,3 % y 12,9 %, respectivamente. El horizonte superficial se caracteriza por un pH básico (8,4; 1:2,5 suelo:agua), ser no salino (conductividad eléctrica 1:5 suelo:agua de $0,18 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a 25°C), contener un 13 % de carbonato cálcico equivalente y un 1 % de materia orgánica (Walkley-Black). Según la clasificación de Papadakis (MAPA, 1989) el clima es mediterráneo seco. Los valores medios anuales de evapotranspiración de referencia (FAO Penman-Monteith; Allen et al., 1998), precipitación y temperatura media (periodo 1993-2021) fueron de 974 mm, 649 mm y $15,8^{\circ} \text{C}$, respectivamente.

Durante un periodo de doce años, se mantuvo una rotación de cereales de invierno: cebada (*Hordeum vulgare* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), bajo condiciones de secano, sin

riego. En la campaña 2013-2014, se sembró cebada (variedad 'Cristalia') el 16 de diciembre y se cosechó el 23 de julio. El tratamiento histórico de fertilización nitrogenada consistía en la aplicación de purín porcino antes de la siembra y un tratamiento control sin aplicación de N. En la campaña 2013-2014 la aplicación de fertilizante se realizó el 25 de octubre de 2013. El tratamiento control recibió $34,9 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}$ en forma de superfosfato cálcico (18 % P_2O_5) y $120,8 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ en forma de sulfato potásico (50 % K_2O). El tratamiento con purín de cerdo de engorde ($26,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) equivalía a $161 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (108 kg de N-NH_4^+ y 53 kg de N-orgánico), complementándose con $37,5 \text{ kg K}\cdot\text{ha}^{-1}$ en forma de sulfato potásico. El purín porcino presentaba un contenido en materia seca del 7,7 % y los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio sobre materia seca eran del 70,1 %, 7,8 %, 3,4 % y 3,9 %, respectivamente. El diseño experimental fue en bloques al azar con dos repeticiones. El tamaño de cada una de las parcelas era de $37,5 \text{ m}^2$ ($3 \text{ m} \times 12,5 \text{ m}$). Tras la aplicación de fertilizantes, éstos se enterraron con un rotovator.

Muestreo e identificación de especies de oribátidos

En la campaña 2013-14, se muestreó el 7 de octubre de 2013, el 12 de marzo de 2014 y el 19 de junio de 2014. En cada parcela se obtuvo una muestra compuesta de tres puntos con un volumen total de suelo equivalente a $141,4 \text{ cm}^3$ (profundidad de muestreo de 5 cm). Los oribátidos se extrajeron durante un período de siete días (mediante un embudo Berlese-Tüllgren) y se almacenaron en etanol (al 70 %, v/v). Los extractores iban asociados a bombillas incandescentes de 25 watts. Los oribátidos adultos se contaron para cuantificar la abundancia ($\text{individuos}\cdot\text{m}^{-2}$). Se identificaron con el microscopio, modelo Olympus BX51 (Evident, Tokio, Japón), a nivel de especie y utilizando las claves de Pé-

rez-Íñigo (1993 y 1997), Subías y Arillo (2001) y Weigmann (2006). Se aplicó la ordenación sistemática de Subías y Shtanchaeva (2023). La especie *Tectocepheus velatus sarekensis* Trägårdh, 1910 constituyó una excepción en la clasificación ya que se siguió el criterio del análisis filogenético de Laumann et al. (2007) para clasificarlo como *Tectocepheus sarekensis*. Como índice de diversidad se utilizó el índice de Shannon (H ; Krebs, 1999) expresado como $H' = -\sum p_i \ln(p_i)$, donde p_i representa el número de individuos de una especie respecto al número total de individuos de una muestra. La dominancia (d) se obtuvo a partir del índice de Berger-Parker (Berger y Parker, 1970; Caruso et al., 2007) calculándose, para cada muestra, como cociente entre el número de individuos de la especie más abundante respecto al total de individuos.

Los individuos en estadio juvenil no se identificaron ni fueron incluidos en los análisis estadísticos porque con frecuencia no se pueden determinar a nivel de especie (Coleman et al., 2018), y también porque, al estudiar las muestras, su proporción era despreciable.

Análisis Estadístico

Para todos los análisis se empleó software R (R Core Development Team, 2016). La abundancia se analizó mediante un modelo lineal generalizado mixto. El tratamiento fue considerado fijo, mientras que la combinación tiempo-bloque, se consideró aleatoria. Para el cumplimiento de las premisas estadísticas, se asumió una distribución Gamma con un enlace "Log", utilizándose la librería de glmmTMB de R.

En el análisis del índice de Shannon y de la dominancia, se emplearon modelos lineales mixtos. El mejor modelo según el modelo de información de Akaike (AIC), fue el que definió como fijo al tratamiento de fertilización y como aleatorio el tiempo y el bloque. Se emplearon las librerías lme4 y lmerTest de R.

Se calculó la correlación interclase (CCI) para estas variables. La CCI mide la correlación entre los puntos o muestras de una misma parcela y, cuanto más alta sea, indica que las mediciones dentro de una misma parcela son muy similares y por lo tanto la variación viene dada principalmente por los tratamientos.

Para analizar la variable conteo de individuos en cada especie se utilizó el modelo lineal generalizado mixto con distribución binomial negativa y función de enlace "Log". Dicho modelo fue elegido debido a que la base de datos presentaba una marcada sobredispersión que es característica de bases de datos tipo "ZIP" (zero-inflated Poisson). Se utilizó la librería glmmTMB (Brooks et al., 2017) de R. Los efectos fijos del modelo fueron el tratamiento, la especie y la interacción tratamiento con especie, y los efectos aleatorios fueron el tiempo y el bloque. Se utilizó el test de Wald chi-cuadrado en donde el cuadrado de la diferencia se compara con una distribución de chi-cuadrado. Las diferencias de la interacción tratamiento con especie se analizaron mediante el test de Tukey utilizando la escala logarítmica.

Resultados

Las producciones en grano (peso seco) alcanzaron los 2.382 kg·ha⁻¹ en el tratamiento control y fueron significativamente superiores (6.262 kg·ha⁻¹) en el tratamiento con purines.

En total, se identificaron 214 individuos adultos de oribátidos pertenecientes a seis especies distintas. Se incluyeron en el análisis estadístico cuatro de ellas: *Epilohmannia cylindrica cylindrica* (Berlese, 1904); *Oribatula (Zygribatula) excavata* Berlese, 1916; *Tectocepheus sarekensis* Trägårdh, 1910 y *Zetomimus (Protozetomimus) acutirostris* (Mihelčič, 1957). Se descartaron para el estudio, por considerarse una contaminación o rareza dos espe-

cies: la especie *Galumna (Galumna) tarsipennata* Oudemans, 1914 ya que solo se identificó, en el primer muestreo, un individuo en una parcela del tratamiento control, y la especie *Pseudotectoribates subsimilis subsimilis* (Mihelčič, 1956) de la que solo se encontraron tres individuos, en el primer muestreo, y en una parcela del tratamiento con purín.

En relación con las especies identificadas, el índice de diversidad (Shannon) no difirió significativamente entre tratamientos (Tabla 1) con un valor promedio de 0,6 para el control y de 1,0 cuando se aplican purines. Tampoco hubo diferencias significativas (Tabla 1) en los valores de dominancia (promedio de 0,8 para el control y de 0,5 cuando se aplican purines). Del estudio de los componentes de la varianza aportados por los componentes aleatorios, se pudo calcular la correlación intraclase (CCI) para estas variables. El 13 % de la variación en H y el 15 % de la variación en d está aportada por la variación de las medidas entre los meses sometidos a un determinado tratamiento. El 85 % y el 87 % restante en H y en d , respectivamente, están aportados por la variación entre las parcelas del mismo mes y bloque (Tabla 1).

La aplicación de purines favoreció la abundancia de oribátidos (Tabla 1; Figuras 1 y 2). En las parcelas con la aplicación de purines, el valor medio en abundancia alcanzó los 7.569 individuos·m⁻² mientras que en el control la media se situó en 1.485 individuos·m⁻². El 50 % de la variación en los valores de abundancia se aportó por la variación de las medidas entre los meses y bloques sometidos a un determinado tratamiento. El 50 % restante se aportó por la variación entre las parcelas del mismo mes y bloque (Tabla 1).

En el conteo del número de individuos, la interacción del tratamiento y las especies identificadas fue significativa (Tabla 2). La combinación de la aplicación del purín con la especie *O. excavata* difirió del resto de combinaciones (excepto para la presencia de *Z.*

Tabla 1. Análisis mediante un modelo generalizado mixto del efecto del tratamiento de fertilización sobre las variables: abundancia de oribátidos, índice de diversidad de Shannon y dominancia¹. Se presenta también el valor de la correlación intraclase (CCI).
Table 1. Analysis of the effect of a fertilization treatment on oribatid mite abundance, Shannon index of diversity and dominance¹ through a generalised mixed model procedure. The intraclass correlation coefficient (CCI) is also shown.

Variables	Abundancia			Índice de Shannon (H')			Dominancia (d)		
	E	EE	P	E	EE	P	E	EE	P
Componentes fijas									
Intercepto	7,2528	0,4535	<2e ⁻¹⁶	1,0474	0,1500	0,0002	0,5503	0,0936	0,0027
Tratamiento	1,6634	0,4760	0,0005	-0,4321	0,1974	0,0803	0,2379	0,1150	0,0820
Componente aleatorio									
σ^2_e	0,3638			0,0975			0,0331		
$\sigma^2_{\text{tiempo/bloque}}$	0,3742			0,0151			0,0061		
CCI	0,50			0,13			0,15		

¹ Para cada componente fijo se indica el valor estimado (E), el error estándar (EE) y la probabilidad (P).

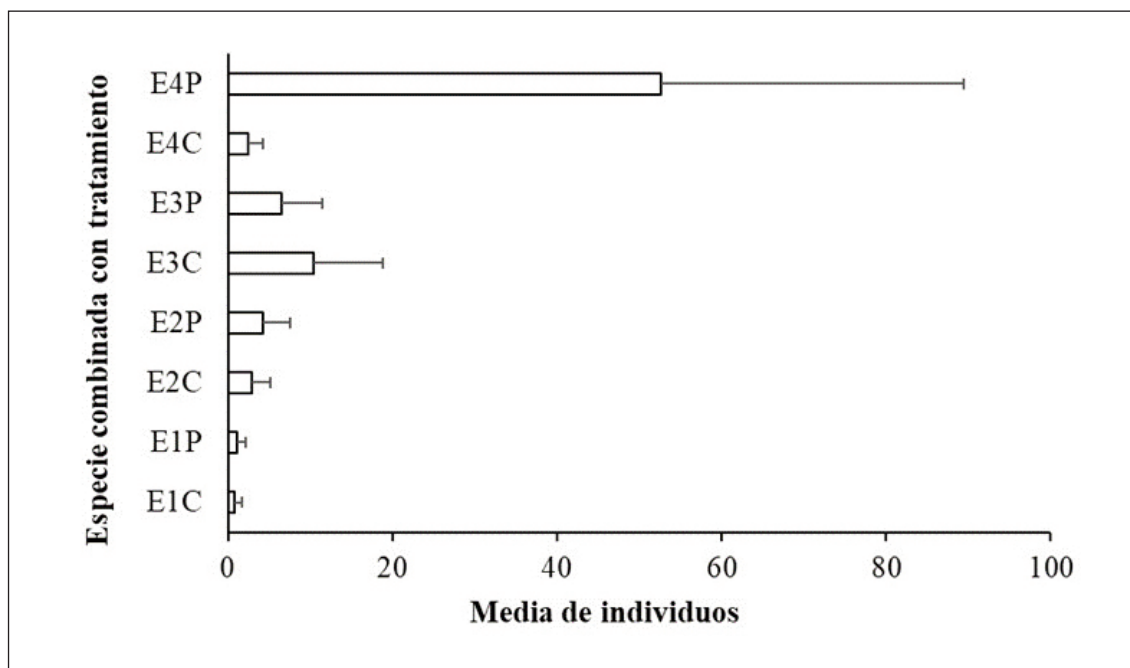


Figura 1. Media de individuos (en 141,4 cm³, profundidad de 5 cm) por muestreo y para cada especie (E1, E2, E3 y E4) en combinación con cada tratamiento de fertilización (C: control; P: purín porcino). Las siglas de las especies corresponden a: E1, *Epilohmannia cylindrica cylindrica*; E2, *Tectocepheus sarekensis*; E3, *Zetomimus (Protozetomimus) acutirostris*; E4, *Oribatula (Zygoribatula) excavata*. Las líneas sobre las columnas se asocian al error estándar.

Figure 1. Average individuals (in 141,4 cm³, 5 cm depth) at the different samplings for each species (E1, E2, E3 and E4) and combined with both fertilization treatments (C: control; P: pig slurry). The initials of the species belong to: E1, *Epilohmannia cylindrica cylindrica*; E2, *Tectocepheus sarekensis*; E3, *Zetomimus (Protozetomimus) acutirostris*; E4, *Oribatula (Zygoribatula) excavata*. The lines over the columns represent the standard error.

Tabla 2. Análisis del conteo de individuos para cada especie de oribátidos y tratamiento de fertilización según la prueba de Wald Chi-cuadrado.

Table 2. Analysis of deviance for the number of individuals belonging to different oribatid' species and fertilization treatment (Type II Wald Chi-square tests).

	Chi-cuadrado(Chiq)	Grados de libertad	P (>Chiq)
Tratamiento	10.033	1	0,001538
Especie	37.419	3	3,75e ⁻⁰⁵
Tratamiento × Especie	21.434	3	8,55e ⁻⁰²

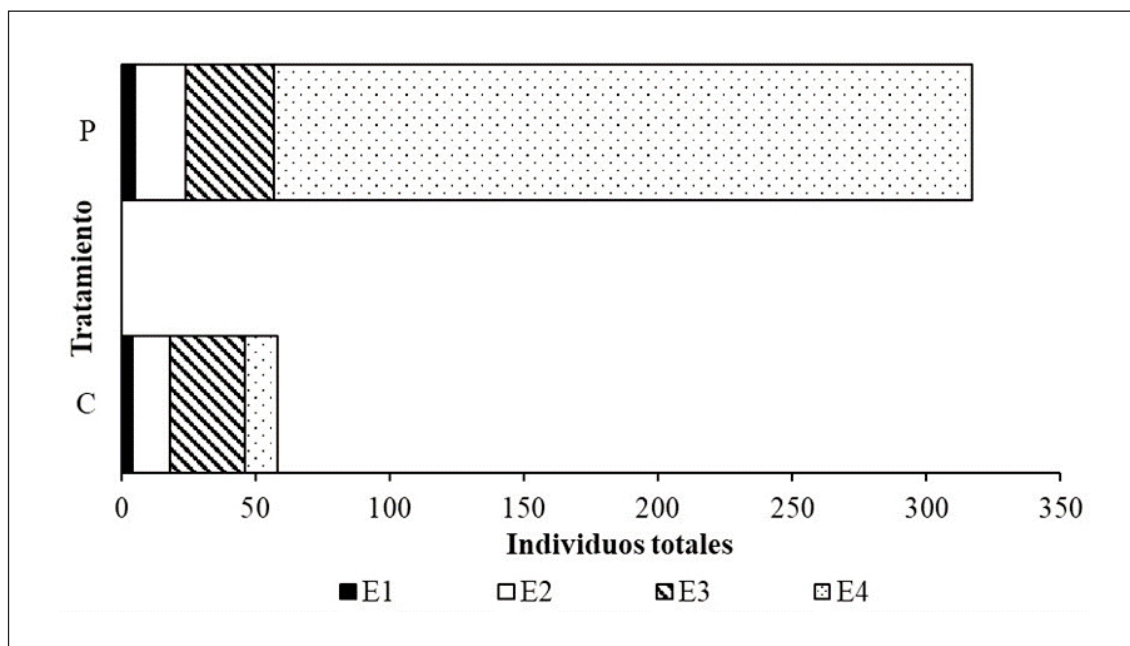


Figura 2. Número total de individuos identificados (suma de tres muestreos) de las distintas especies (E1, E2, E3 y E4) asociadas a los dos tratamientos de fertilización: control (C) y aplicación de purín porcino (P). Las siglas de las especies corresponden a: E1, *Epilohmannia cylindrica cylindrica*; E2, *Tectocepheus sarekensis*; E3, *Zetomimus (Protozetomimus) acutirostris*; E4, *Oribatula (Zygoribatula) excavata*.

Figure 2. Number of individuals for each species (E1, E2, E3 and E4) and according to the fertilization treatment: control (C) and pig slurry application (P). The initials of the species belong to: E1, *Epilohmannia cylindrica cylindrica*; E2, *Tectocepheus sarekensis*; E3, *Zetomimus (Protozetomimus) acutirostris*; E4, *Oribatula (Zygoribatula) excavata*.

acutirostris en el tratamiento control). Se contabilizó un mayor número de individuos de *O. excavata* cuando se habían realizado aplicaciones de purín porcino (Tabla 3; Figura 1).

Discusión

En zonas cultivadas la presencia de especies distintas de oribátidos disminuye en comparación con zonas no cultivadas o de bosque bajo las mismas condiciones climáticas, lo que es también observable en sistemas Mediterráneos de zonas semiáridas (Bosch-Serra et al., 2014). No obstante, el número de espe-

cies descritas en esta investigación es inferior (4 especies vs. 6 especies) a las encontradas en un experimento similar y próximo (Bosch-Serra et al., 2023) pero bajo cultivo de colza (*Brassica napus* var. *napus*). Entre las especies identificadas, dos de ellas podrían descartarse como indicadoras de las prácticas de fertilización. Así, *Tectocepheus sarekensis* se considera una especie capaz de adaptarse a una gran diversidad de ambientes (Coleman et al., 2018) y *Epilohmannia cylindrica cylindrica* se suele asociar preferentemente a zonas de pastos e incluso de bosques (Rockett, 1986). *Zetomimus (Protozetomimus) acutirostris* podría ser indicador de situaciones de estrés (Feketeová et al., 2021) pero en este

Tabla 3. Contrastes¹ entre las especies (E1, E2, E3, E4)² presentes en los tratamientos³ control (C) y en la aplicación de purines (P).

Table 3. Results of the contrasts between the species (E1, E2, E3, E4)² found in the control treatment (C) and in the slurry application (P)³.

	E2C	E3C	E4C	E1P	E2P	E3P	E4P
E1C	0,7569	0,0846	0,8754	1,0000	0,4244	0,1608	0,0001
E2C		0,5602	1,0000	0,8878	0,9975	0,8610	0,0004
E3C			0,4408	0,1274	0,8547	0,9961	0,1977
E4C				0,9602	0,9815	0,7262	0,0002
E1P					0,5721	0,2381	0,0001
E2P						0,9954	0,0014
E3P							0,0089

¹ Para el ajuste del valor de probabilidad en la comparación de cada uno de los ocho grupos (especie+tratamiento de fertilización) se utilizó el método de Tukey. La prueba se ha realizado sobre una escala logarítmica. Se remarcan con letra en negrita los contrastes significativos.

² E1: *Epilohmannia cylindrica cylindrica*; E2: *Tectocephus sarekensis*; E3: *Zetomimus (Protozetomimus) acutirostris*; E4: *Oribatula (Zygoribatula) excavata*.

³ C: sin purín; P: purín aplicado en siembra a dosis de 161 kg N ha⁻¹.

experimento su presencia no es relevante. Por otro lado, las referencias citadas (Bosch-Serra et al., 2014 y 2023) coinciden en señalar a la cuarta especie, *Oribatula (Zygoribatula) excavata* (*O. excavata*), como la especie característica de sistemas agrícolas mediterráneos de secano en donde se han aplicado purines, siempre que no se sobrepase en una única aplicación la dosis de 210 kg N·ha⁻¹·año⁻¹ (Bosch-Serra et al., 2014), umbral que no se supera en este estudio. La presencia de *O. excavata*, ligada a la aplicación de purines, no se puede generalizar ya que no siempre está presente cuando se aplican purines debido a la gran importancia que tienen las distintas zonas bioclimáticas (Dirilgen et al., 2016) sobre el tipo de comunidad de ácaros presente. Otro motivo de su ausencia tras la aplicación de purines puede ir ligado a los tratamientos con desinfectantes (fungicidas o bactericidas) que previamente hayan po-

dido recibir los purines, lo que hace disminuir la presencia de oribátidos en general e incluso las producciones de forraje según las dosis empleadas (Wasińska-Graczyk et al., 2009). Por otra parte, en áreas mineras del noroeste de Irán, con suelos contaminados por Zn, Cu y Cd, *O. excavata* aparece como la especie predominante (Jamshidian et al., 2015). Cabe señalar que los purines de cerdo son ricos en Cu y Zn puesto que éstos se añaden como suplementos en la alimentación y, al ser baja su retención en los animales, pasan mayoritariamente a los purines (Gourlez et al., 2022). Por tanto, con independencia del tipo de materia orgánica añadido en forma de purines, *O. excavata* toleraría la aplicación elevada de Cu y Zn que puede ir asociada a los purines de cerdo (Martínez et al., 2020). Esta predominio de *O. excavata* no supone una disminución significativa de los valores de diversidad, ni de dominancia. Los sistemas

bajo estrés se caracterizan por una pérdida de diversidad, de manera que hay una sustitución de las especies más sensibles por las más tolerantes, las cuales llegan a dominar a la comunidad (Odum, 1985). En este experimento no existe una disminución del número de especies, ni del número de individuos asociado a cada una de ellas (Figuras 1 y 2), excepto para *O. excavata* en donde la adición de purines favorece su presencia (Figura 2). Este mantenimiento de la diversidad respecto al control puede asociarse al mantenimiento de la calidad del suelo (van Straalen, 2004) en el tratamiento con purines.

Conclusiones

La aplicación de purines de cerdo, a dosis de N establecidas en zonas vulnerables a la contaminación de nitratos ($<170 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), permite mantener en las parcelas experimentales la diversidad de oribátidos, diversidad que parece ser propia de sistemas agrícolas mediterráneos de secano. Uno de los indicadores de la sostenibilidad de esta práctica de fertilización con purín porcino es el incremento de la presencia de *Oribatula (Zygoribatula) excavata*, sin detrimento de la presencia de otras especies, por lo que esta especie se podría relacionar con la transformación de la materia orgánica aportada en esta deyección ganadera.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Sílvia Porras su apoyo en las actividades de laboratorio, a M. Gabriela Molina sus comentarios sobre el texto y a Montserrat M. Boixadera Bosch su apoyo en la edición. Este estudio ha sido cofinanciado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria – INIA (proyecto RTA2017-88-C3-03) y por el

gobierno de la Generalitat de Catalunya dentro del Plan para la mejora de la fertilización del Departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural.

Referencias bibliográficas

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., Ab W. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm>. (Consultado: 12 octubre 2023).
- Berger W.H., Parker F.L. (1970). Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. *Science* 168: 1345-1347. <https://doi.org/10.1126/science.168.3937.1345>.
- Bosch-Serra À.D., Padró R., Boixadera-Bosch R.R., Orobítg J., Yagüe M.R. (2014). Tillage and slurry over-fertilization affect oribatid mite communities in a semiarid Mediterranean environment. *Applied Soil Ecology* 84: 124-139. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.06.010>.
- Bosch-Serra À.D., Molina M.G., González-Llinàs E., Boixadera-Bosch R.R., Martínez B., Orobítg J., Mateo-Marín N., Domingo-Olivé F. (2023). Oribatid mites in different Mediterranean crop rotations fertilized with animal droppings. *Experimental and Applied Acarology* 90: 185-202. <https://doi.org/10.1007/s10493-023-00812-4>.
- Brooks M.E., Kristensen K., van Benthem K.J., Magnusson A., Berg C.W., Nielsen A., Skaug H., Machler M., Bolker B.M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R journal* 9: 378-400. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000240890>.
- Cannon R.J.C., Block W. (1988). Cold tolerance of microarthropods. *Biological Reviews* 63: 23-77. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1988.tb00468.x>.
- Caruso T., Pigino G., Bernini F., Bargagli R., Migliorini M. (2007). The Berger-Parker index as an effective tool for monitoring the biodiversity of disturbed soils: a case study on Mediterra-

- nean oribatid (Acari: Oribatida) assemblages. *Biodiversity and Conservation* 16: 3277-3285. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9137-3>.
- Coleman D.C., Callaham Jr M.A., Crossley Jr D.A. (2018). Soil biodiversity and linkages to soil processes. En: *Fundamentals of Soil Ecology*, 3^a ed. (Ed. Coleman D.C., Callaham M.A., Crossley Jr D.A.), pp. 233-253. Elsevier, Ámsterdam, Países Bajos. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805251-8.00007-7>.
- COM/2019/640 final. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las regiones: El Pacto Verde Europeo. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52019DC0640> (Consultado: 12 octubre 2023).
- COM/2020/381 final. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las regiones: Estrategia «de la granja a la mesa» para un sistema alimentario justo, saludable y respetuoso con el medio ambiente. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52020DC0381> (Consultado: 12 octubre 2023).
- Council directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal of the European Communities*, L375, de 31 de diciembre de 1991, pp. 1-8.
- Dirilgen T., Arroyo J., Dimmers W.J., Faber J., Stone D., Martins da Silva P., Carvalho F., Schmelz R., Griffiths B.S., Francisco R., Creamer R.E., Sousa J.P., Bolger T. (2016). Mite community composition across a European transect and its relationships to variation in other components of soil biodiversity. *Applied Soil Ecology* 97: 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.06.008>.
- Erickson J.M., Platt Jr R.B. (2013). Oribatid mites. En: *Encyclopedia of Quaternary Science*. 2^a ed. (Ed. Elias S.A., Mock C.J.), pp. 679-688. Elsevier, Ámsterdam, Países Bajos. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00276-4>.
- Feketeová Z., Mangová B., Čierniková M. (2021). The soil chemical properties influencing the Oribatid mite (Acari; Oribatida) abundance and diversity in coal ash basin vicinaje. *Applied Sciences* 11: 3537. <https://doi.org/10.3390/app11083537>.
- Gergócs V., Hufnagel L. (2009). Application of oribatid mites as indicators (review). *Applied Ecology and Environmental Research* 7: 79-98. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/0701_079098.
- Gourlez E., Béline F., Dourmad J.Y., Monteiro A., de Quelen F. (2022). Rôle et impact environnemental du cuivre et du zinc en élevage porcin: de l'alimentation au retour au sol des effluents. *INRAE Productions Animales* 35: 91-108. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2022.35.2.7073>.
- Jamshidian M.K., Saboori A., Akrami M.A., van Straalen N.M. (2015). Oribatid mite communities in contaminated soils nearby a lead and zinc smelting plant in Zanjan, Iran. *Systematic and Applied Acarology* 20: 251-262. <https://doi.org/10.11158/saa.20.3.3>.
- Krebs C.J. (1999). *Ecological methodology*, 2^a ed. Benjamin Cummings, Menlo Park, CA, EEUU. 620 pp.
- Laumann M., Norton R.A., Weigmann G., Scheu S., Maraun M., Heethoff M. (2007). Speciation in the parthenogenetic oribatid mite genus *Tectocephus* (Acari, Oribatida) as indicated by molecular phylogeny. *Pedobiologia* 51: 111-122. <https://doi.org/10.1016/J.PEDOBI.2007.02.001>.
- Luxton M. (1981). Studies on the oribatid mites of a Danish beech wood soil. IV. Developmental biology. *Pedobiologia* 21: 312-340.
- MAPA (1989). Caracterización agroclimática de la provincia de Gerona. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Madrid. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/fondo/pdf/2851_all.pdf. (Consultado: 8 julio 2023).
- Martínez E., Maresma A., Biau A., Berenguer P., Cela S., Santiveri F., Michelena A., Lloveras J. (2020). Long-term effects of liquid swine manure on soil organic carbon and Cu/Zn levels in soil and maize. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 118: 193-205. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10093-7>.

- Menta C., Remelli S. (2020). Soil health and arthropods: from complex system to worthwhile investigation. *Insects* 11: 54. <https://doi.org/10.3390/insects11010054>.
- Norton R.A., Kethley J.B., Johnston D.E., O'Connor B.M. (1993). Phylogenetic perspectives on genetic systems and reproductive modes of mites. En: *Evolution and Diversity of Sex Ratio in Insects and Mites* (Ed. Wrensch D., Ebbert M.A.), pp. 8-99. Chapman & Hall, Nueva York, EEUU.
- Odum E.P. (1985). Trends expected in stressed ecosystems. *Bioscience* 35: 419-422. <https://doi.org/10.2307/1310021>.
- Ojala R., Huhta V. (2001). Dispersal of microarthropods in forest soil. *Pedobiologia* 45: 443-450. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00098>.
- Pérez-Íñigo C. (1993). Acari, Oribatei, Poronota. En: *Fauna Ibérica*, vol. 3 (Ed. Ramos M.A.), pp. 1-316. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España.
- Pérez-Íñigo C. (1997). Acari, Oribatei, Gymnonota I. En: *Fauna Ibérica*, vol. 9 (Ed. Ramos M.A.), pp. 1-373. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España.
- Queralt M., Moraza M.L., de Miguel A.M. (2014). Preliminary study of the mite community structure in different black truffle producing soils. *Forest Systems* 23: 339-348. <https://doi.org/10.5424/fs/2014232-04906>.
- R Core Development Team (2016). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria.
- Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 17, de 20 de enero de 2022, pp. 5664-5684.
- Rockett L.C. (1986). Agricultural impact on the horizontal distribution of oribatid mites (acari: oribatida). *International Journal of Acarology* 12: 175-180. <https://doi.org/10.1080/01647958608683461>.
- Seniczak A. (2021). Oribatid mites (Hornmidd). Disponible en: <https://www.artsdatabanken.no/Pages/299644> (Consultado: 10 julio 2023).
- Siepel H., de Ruiter-Dijkman E.M. (1993). Feeding guilds of oribatid mites based on their carbohydrase activities. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 1491-1497. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90004-U](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90004-U).
- Soil Survey Staff (2014). *Claves para la taxonomía de suelos*, 12ª ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, EEUU.
- Subías L.S., Arillo A. (2001). Acari, Oribatei, Gymnonota II. En: *Fauna Ibérica*, vol. 15 (Ed. Ramos M.A.), pp. 1-289. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España.
- Subías L.S., Shtanchaeva U.Y. (2023). Claves de familias, géneros y subgéneros de ácaros oribátidos del mundo (Acari, Oribatida). *Monografías electrónicas. Sociedad Entomológica Aragonesa* 13: 1-289. http://sea-entomologia.org/MeSEA13_2023.pdf.
- van Straalen N.M. (2004). The use of invertebrates in ecological surveys of contaminated soils. En: *Vital soil: Function, value and properties* (Ed. Doelman P., Eijackers H.J.P.), pp. 130-159. Elsevier, Ámsterdam, Países Bajos.
- Wasińska-Graczyk B., Seniczak S., Graczyk R. (2009). Effects of liquid pig manure fertilization on the density and species structure of Oribatida (Acari) and green forage yield in a lowland meadow in Poland. *Biological Letters* 46: 57-62. <https://doi.org/10.2478/v10120-009-0001-5>.
- Weigmann G. (2006). *Hornmilben (Oribatida)*. Verlag Goecke & Evers, Keltern, Alemania. 520 pp.
- (Aceptado para publicación el 7 de noviembre de 2023)