

Caracterización de la comunidad de nematodos de suelo en cuatro sistemas productivos del sudeste bonaerense, Argentina

ANDREA J. THOUGNON ISLAS^{1,2}✉; ELISEO CHAVES³; DORA CARMONA³; SILVINA SAN MARTINO² & EDUARDO A. MONDINO²

¹Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (IPADS Balcarce). Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce-CONICET, Argentina. ²Unidad Integrada Balcarce, Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. ³Nema-Agris, La Plata, Argentina.

RESUMEN. Este trabajo evalúa la comunidad de nematodos de suelo en ambientes agrícolas y ganaderos con diferente intensidad de uso del suelo en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Se extrajeron nematodos de sitios con diferente intensidad de uso de la tierra: maíz (2 años consecutivos de labranza convencional [LC]), papa (1 año de LC), soja (siembra directa) y pasturas (con animales en pastoreo). Se identificaron 44 géneros de nematodos pertenecientes a 5 grupos tróficos. Los géneros más abundantes fueron *Helicotylenchus*, *Pratylenchus* y *Cruzstema*. Se encontraron diferencias significativas en la estructura de la comunidad de nematodos entre los usos de suelo. La abundancia total y por grupos tróficos fue mayor en soja y pastura. Además, en relación con la composición de la comunidad de nematodos de vida libre (bacteriófagos, frugívoros, omnívoros y depredadores), los sitios con maíz y soja presentaron una mayor proporción de fungívoros, mientras que los sitios con papa y pastura mostraron una mayor proporción de bacteriófagos. En relación con los nematodos fitófagos, la comunidad asociada a sitios con mayor disturbio agrícola (maíz y papa) presentó un ensamble diferente y menos diverso que aquellas asociadas a sitios con menor disturbio (soja y pastura). Los índices nematológicos evidenciaron que las dinámicas sucesionales de las comunidades de nematodos se vieron afectadas debido a las prácticas de los usos de suelos. Esto se confirmó a través del análisis del perfil faunal, la mayoría de las cadenas tróficas, sin importar el tipo de uso del suelo, se vieron afectadas por las prácticas agronómicas mostrando redes tróficas maduras. Este trabajo constituye el primer reporte de la composición de las comunidades de nematodos de suelo en campos de producción agrícola y ganaderos del sudeste bonaerense, y contribuye a conocer la ecología de comunidades de los nematodos de suelo impactados por diferentes prácticas antropogénicas.

[Palabras claves: nematofauna, grupos tróficos, ensambles, salud del suelo]

ABSTRACT. Characterization of soil nematode community in four productive systems from southeast of Buenos Aires, Argentina. This work evaluates the community of soil nematodes in agricultural and livestock environments with different intensity of land use in the southeast of the province of Buenos Aires. Nematodes were extracted from sites with different intensity of land use: corn (2 consecutive years of conventional tillage [LC]), potato (1 year of LC), soybean (direct seeding), and pastures (with grazing animals). 44 genera of nematodes belonging to 5 trophic groups were identified. The most abundant genera were *Helicotylenchus*, *Pratylenchus* and *Cruzstema*. Significant differences were found in the structure of the nematode community between land uses. The total abundance and by trophic groups was higher in soybeans and pasture. Furthermore, in relation to the composition of the community of free-living nematodes (bacteriophages, frugivores, omnivores and predators), the sites with corn and soybeans presented a higher proportion of fungivores, while the sites with potatoes and grass showed a higher proportion of bacteriophages. In relation to phytophagous nematodes, the community associated with sites with greater agricultural disturbance (corn and potatoes) presented a different and less diverse assembly than those associated with sites with less disturbance (soybean and pasture). The nematological indices showed that the successional dynamics of the nematode communities were affected due to land use practices. This was confirmed through the analysis of the faunal profile, the majority of food chains, regardless of the type of land use, were affected by agronomic practices showing mature food webs. This work constitutes the first report on the composition of soil nematode communities in agricultural and livestock production fields in southeastern Buenos Aires, and contributes to understanding the ecology of soil nematode communities impacted by different anthropogenic practices.

[Keywords: nematodes, trophic groups, nematode assemblage, soil health]

INTRODUCCIÓN

La salud del suelo es su capacidad para funcionar como un ecosistema vivo, conservar la sanidad y productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y contribuir a mitigar el cambio climático al capturar carbono (Lehmann et al. 2020). Para evaluar el estado de la salud del suelo y de los procesos ecológicos que allí ocurren, se pueden usar indicadores físicos, químicos o biológicos (Bünemann et al. 2018). Dentro de los indicadores biológicos, la mesofauna del suelo —y en especial, los ácaros, los colémbolos y los nematodos (Bongers 1990; Frampton 1997; Ruf 1998)— fue considerada como mejor indicador de la salud del suelo en comparación con la microflora del suelo. Esto se debe a que la mesofauna se encuentra en niveles superiores de la cadena trófica, por lo que integra características fisicoquímicas y biológicas del suelo a través de sus hábitos alimentarios. Por otra parte, son poblaciones más estables, con largos tiempos de generación, mientras que los microorganismos tienden a proliferar rápidamente y a fluctuar con los nutrientes disponibles (Neher 2001).

Los nematodos pertenecen al Phylum Nematoda y presentan una serie de características que los hacen excelentes bioindicadores (Sánchez-Moreno and Talavera 2013). En primer lugar, habitan todos los ecosistemas terrestres y son muy abundantes (Bongers and Bongers 1998; Yeates and Bongers 1999; Neher 2001; Sánchez-Moreno and Talavera 2013), ya que superan los 30 millones de individuos por m² en bosques de robles (Volz 1951) y 10 millones por m² en pastizales de alta producción (Yeates et al. 1997). Además, pueden resistir la escasez de agua y logran sobrevivir incluso en suelos de mala calidad y alterados (Ferris et al. 2001). Estos organismos se extraen del suelo de manera sencilla (Marais et al. 2017), y sus fuentes de alimento se pueden determinar por las estructuras morfológicas asociadas a sus hábitos alimentarios, observando la parte anterior del cuerpo (esófago) mediante lupa (Sánchez-Moreno and Talavera 2013). Por otra parte, el número de nematodos fluctúa en respuesta a la dinámica poblacional de los organismos que consumen y está influenciado por el entorno físico y químico del suelo. Esto refleja los cambios en los ecosistemas debido a su respuesta rápida a las perturbaciones ambientales y antropogénicas (Ferris et al. 2001; Zhang et al. 2020). Estas características permiten recomendarlos como mejores

indicadores del estado de las redes tróficas del suelo y de los parámetros de calidad y fertilidad del suelo (Du Preez et al. 2022).

Los nematodos son parte integral de la biota del suelo, ya que desempeñan roles fundamentales en la dinámica y la estructura de los ecosistemas edáficos (Bongers 1990). Su presencia en los niveles de consumo primario, secundario y terciario en las redes alimentarias del suelo (Sánchez-Moreno et al. 2006) y actividades ecológicas (e.g., la descomposición de materia orgánica, la mineralización de nutrientes y su interacción con otros organismos del suelo) influyen de forma directa en la salud y en la funcionalidad del suelo (Neher 2010; Pan et al. 2016; Jiang et al. 2017). La posibilidad de clasificarlos en grupos tróficos según sus hábitos alimentarios (Yeates et al. 1993) les adjudica roles clave en el funcionamiento del suelo. Si bien los nematodos fitófagos causan pérdidas sustanciales a la producción agrícola, los nematodos bacteriófagos, fungívoros, omnívoros y depredadores desempeñan un papel esencial en la red trófica del suelo (Biswal 2022). Los nematodos bacteriófagos aumentan la abundancia de la flora bacteriana en la rizósfera, estimulan el ciclo de nutrientes y contribuyen a la descomposición de la materia orgánica (Ingham et al. 1985; Bonkowski et al. 2009). Los nematodos fungívoros participan también en la descomposición de la materia orgánica al alimentarse de los hongos de suelo (Schratzberger et al. 2019). Los nemátodos omnívoros y depredadores son más sensibles a los disturbios causados por las prácticas agrícolas (Bongers 1990), son fundamentales en las redes tróficas (ya que depredan organismos de menor tamaño, incluido a los nematodos fitófagos [Khan and Kim 2007]) y contribuyen positivamente al crecimiento de las plantas (Khan and Kim 2007; Dietrich et al. 2020).

Dado que los nematodos ocupan diferentes niveles en la red trófica del suelo y que están vinculados de forma estrecha entre sí, cualquier cambio en uno o más de sus grupos tróficos puede desencadenar un efecto en cascada, que a menudo perturba la estabilidad de dicha red (Sun et al. 2016). Ante una perturbación, esto genera que la red trófica del suelo sufra cambios en la composición de su biota y, por lo tanto, en los servicios ecosistémicos que proporciona; esto resulta en una transición de una red trófica estructurada a una perturbada (Ney et al. 2019; Lu et al. 2020). La respuesta estrechamente vinculada y

consistente de las comunidades de nematodos del suelo a diferentes perturbaciones condujo al desarrollo de índices funcionales (Bongers and Ferris 1999; Ferris et al. 2001) que se pueden usar para evaluar la salud del suelo y dar una idea de los impactos de las diferentes prácticas de uso sobre la nematofauna.

En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, la producción agrícola y ganadera es de gran importancia. Estas actividades afectan a la comunidad de nematodos y disturbán al ecosistema suelo (Zhao and Neher 2013; Ito et al. 2015). Las prácticas agrícolas —sobre todo, la incorporación de fertilizantes y el tipo de labranza utilizados en los sistemas de producción (e.g., labranza convencional y siembra directa)— impactan en el enriquecimiento del ecosistema suelo (Fiscus and Neher 2002), generan alteraciones físicas y químicas que interrumpen la trayectoria sucesional de los nematodos (Bongers 1990) y provocan cambios en la composición y en la diversidad de estos organismos (Fiscus and Neher 2002). El efecto de distintas prácticas agrícolas sobre las comunidades de nematodos fue explorado en nuestro país en estudios previos, en su gran mayoría realizados en ensayos a campo (e.g., en el sudeste bonaerense, Mondino [2001, 2010]). La fortaleza de este tipo de estudios de campo es que los tratamientos agrícolas están estandarizados en un mismo lugar y se realizan con condiciones controladas. Sin embargo, cuando estos análisis se trasladan a condiciones no controladas, los efectos del manejo sobre las comunidades de nematodos pueden diferir según las características del suelo y tipo de manejo en los diferentes campos de productores.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la comunidad de nematodos de suelo en ambientes agrícolas y ganaderos con diferente intensidad de uso del suelo, a escala regional, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. El estudio se realizó siguiendo la hipótesis de que las distintas intensidades de uso del suelo afectan a los parámetros ecológicos de la nematofauna presente en los diferentes sistemas estudiados. Se plantearon las siguientes predicciones: 1) los suelos con mayor intensidad de uso presentarán menor diversidad de nematodos; 2) los suelos con mayor intensidad de uso presentarán menor abundancia de nematodos omnívoros y depredadores, y 3) los cultivos agrícolas con mayor intensidad de uso del suelo presentarán una red trófica más disturbada, con respecto

a los sitios agrícolas con menor intensidad de uso de suelo y a las pasturas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y muestreo de suelos

Este trabajo fue llevado a cabo en 14 lotes (sitios) agrícolas y ganaderos con distinta intensidad de uso del suelo del partido de Balcarce (37.5° S - 58.2° O), sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Todos los sitios seleccionados presentaban suelos Argiudoles típicos de la serie Balcarce. La intensidad de uso del suelo estuvo dada por el tipo de cultivo y las prácticas de labranzas asociadas. Se seleccionaron 3 lotes (sitios) que al momento de muestreo presentaban cultivos de maíz (con 2 años de labranza convencional (LC) y cultivo antecesor papa en LC), 3 con papa (con 1 año de LC y que el año anterior habían estado en descanso, sin cultivo agrícola), 3 con soja (con SD y cultivo antecesor maíz con LC) y 5 lotes con pasturas de distinta edad con animales en pastoreo (Figura 1). Esto refleja un gradiente de intensidad de uso del suelo, de mayor a menor intensidad de la siguiente manera: maíz>papa>soja>pastura. Cabe aclarar que, ante la dificultad de conseguir lotes con pastura de base alfalfa en suelos Argiudoles típicos, todos los sitios muestreados para ese manejo correspondieron a dos establecimientos linderos de la misma zona de producción.

El muestreo se realizó a mediados del otoño (abril/mayo) de 2018. En cada sitio se realizó un muestreo aleatorio utilizando el software QGIS (QGIS Development Team 2017) considerando una densidad de 4 muestras/sitio (Sánchez-Moreno et al. 2008). Se delimitaron parcelas de 16 m², y en cada una se tomaron, en zigzag o guarda griega (Vargas Gil et al. 2017), 20 piques con un barreno de 5 cm² de área y 20 cm de profundidad, con los cuales se formó una muestra compuesta (muestra) que se colocó en una bolsa de polietileno y almacenó en heladera a 4 °C hasta ser procesada.

Propiedades de suelo

Se realizó la caracterización fisicoquímica de los suelos. Para ello se determinó el contenido de nitrógeno (N-NH₄⁺) producido en incubación anaeróbica (Nan), según lo sugerido por Keeney (1982), y el contenido de nitrógeno como nitratos (N-NO₃) a través del método del ácido fenoldisulfónico

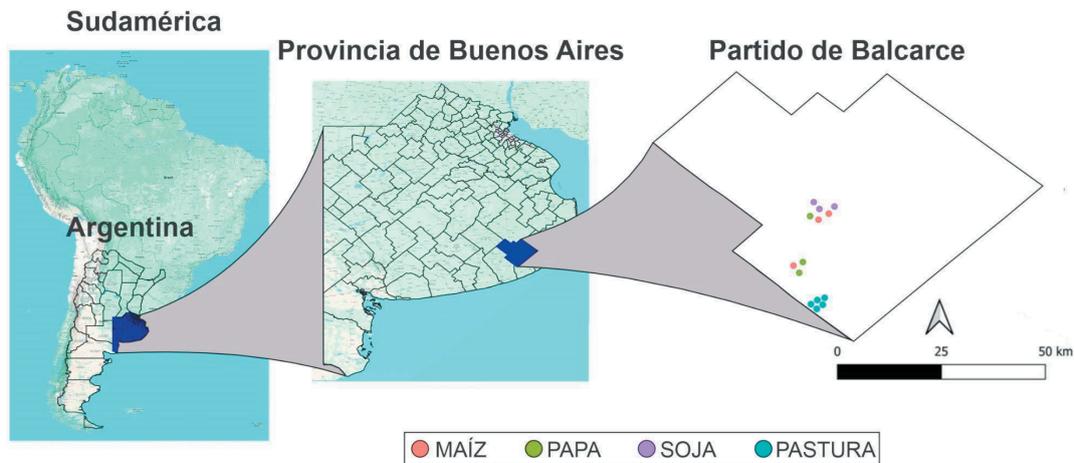


Figura 1. Localización de los 14 sitios de muestreo en el partido de Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina.
Figure 1. Location of the 14 sampling sites in Balcarce, Buenos Aires province, Argentina.

(Keeney and Nelson 1982). Para el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) y el nitrógeno total (NT) se utilizó el método de combustión seca de Dumas (LECO 2013). El contenido de fósforo (P) se determinó mediante la técnica de Bray y Kurtz (1945). El pH se determinó utilizando un pH-metro (Apera) (relación 1:2.5 en agua). Por último, se determinó el contenido de humedad de suelo por gravimetría (estufa a 105 °C por 24 horas) y se calculó la relación C:N como el cociente entre el COS y el NT.

Nematodos de suelo

Se realizó la extracción de nematodos a partir de 200 g de suelo fresco de cada muestra, utilizando la técnica de flotación-centrifugación propuesta por Jenkins (1964). Se determinó la abundancia de nematodos (n° individuos/100 g suelo seco) por observación en lupa binocular. De cada muestra se tomaron 100 individuos al azar, con los que se realizaron preparados permanentes, de acuerdo con lo propuesto por Hooper (1986). Se identificaron los nematodos bajo microscopio óptico (1000X) a nivel de familia/género mediante las descripciones propuestas por Heyns (1971), Siddiqi (2000) y Chaves et al. (2019). Se determinó la riqueza taxonómica (n° de géneros y de familias obtenidos en cada comunidad).

Se clasificó a los nematodos según sus hábitos alimentarios en 5 grupos tróficos: fitófagos (Fi), bacteriófagos (Ba), fungívoros (Fu), omnívoros (Om) y depredadores (Pr), según Yeates et al. (1993). Los nematodos

fitófagos fueron, además, agrupados según su comportamiento alimentario en endoparásitos, semiendoparásitos y ectoparásitos, adaptado de Yeates et al. (1993). Según su estrategia de vida se les asignó un valor de la escala colonizadores-persistentes (c-p) (Bongers 1990) y se los agrupó según la combinación de sus hábitos alimentarios y su valor c-p en gremios funcionales según Ferris et al. (2001).

A partir de los datos taxonómicos y la abundancia se calcularon los índices clásicos de diversidad: el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') (según Soto [2016]), la equidad de Pielou (J') (Pielou 1969) y el índice de Simpson (λ) (según Yeates and Bongers [1999]). Los índices nematológicos índice de madurez (MI), índice de parásitos de plantas (PPI), de enriquecimiento (EI), de estructura (SI) y el diagnóstico de la red trófica a partir del perfil faunal del suelo se calcularon utilizando el software online Nematode Joint Indicator Analysis (NINJA) (Sieriebriennikov et al. 2014). El índice de madurez (MI) expresa la condición de un ecosistema sobre la base del estado de sucesión de la comunidad de nematodos de vida libre (Bongers 1990). Se calcula a partir de la abundancia relativa de los nematodos clasificados en función de sus características de vida, en la escala de colonizadores-persistentes (c-p) de la siguiente manera:

$$MI = \sum v_i \times f_i \quad \text{Ecuación 1}$$

donde v_i es el valor c-p del taxón i y f_i es la frecuencia relativa de ese taxón en la

muestra, para todos los taxones de vida libre en la muestra. Los nematodos fitófagos no están incluidos en este índice, sino en el índice de parásitos de plantas (PPI), que se calcula de manera similar al MI, pero considerando solo los nematodos fitófagos. El índice de enriquecimiento (EI) y el índice de estructura (SI) —propuestos por Ferris et al. (2001)—, permiten inferir el rol ecológico de los nematodos del suelo en el marco de la estructura y función de la red trófica edáfica (Sánchez-Moreno and Talavera 2013). El índice EI (indicador de la disponibilidad y enriquecimiento de nutrientes) y el índice SI (indicador de la estructura y complejidad de la red alimentaria del suelo, así como de la capacidad del suelo para la supresión de especies oportunistas) se calcularon de la siguiente manera:

$$EI = (e / e + b) \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$SI = (s / s + b) \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

donde b son los nematodos de todos los hábitos alimenticios c-p2, e: son los nematodos bacteriófagos c-p1 y fungívoros c-p2 y s son los nematodos de todos los hábitos alimenticios en c-p3-5; en todos los casos (b, e y s), ponderados de acuerdo con las tasas de crecimiento, metabólicas y según la sensibilidad a las perturbaciones (Neher et al. 2004). Por último, el diagnóstico de la red trófica se realizó a partir del perfil faunal del suelo, que surge como una representación gráfica que combina el EI y SI.

Análisis de datos

La abundancia de nematodos fue analizada mediante modelos lineales generalizados, proponiendo inicialmente una distribución Poisson para la variable respuesta, función de enlace log y predictor lineal que considera la forma de muestreo mediante un modelo jerárquico en el que el uso de suelo y los sitios anidados en dichos usos de suelo se consideran como fijos y el objetivo principal era comparar los usos de suelo (Mc Cullagh and Nelder 1989; Dunn and Smith 2018). Debido a la presencia de sobredispersión, se consideraron modelos con distribución binomial negativa o modelos cuasi-Poisson para la variable respuesta (Demétrio et al. 2014). La adecuación de los respectivos modelos se evaluó mediante diferentes gráficos de residuos y gráficos probabilísticos semi-normales (del inglés, half-normal plots), con el agregado de bandas construidas por

simulación (Dunn and Smith 2018; Moral et al. 2017).

Para analizar la composición de la comunidad de nematodos se utilizó un análisis composicional considerando la forma de muestreo, con diagramas ternarios para caracterizar los resultados obtenidos (Aitchison 1982, 2005). Si bien los nematodos omnívoros y depredadores forman grupos de características diferentes, debido a su escasa presencia con relación a los otros dos grupos tróficos de vida libre se consideraron de forma conjunta. Lo mismo se consideró para los nematodos c-p3, c-p4 y c-p5, que se consideraron juntos.

Se realizó un análisis compuesto de indicadores (De Cáceres and Legendre 2009) para identificar géneros indicadores de nematodos asociados a un uso de suelo o una combinación de estos. Se obtuvieron los valores de asociación compuestos (coeficientes de correlación biserial puntual corregidos, r.g) (Tichy and Chytrý 2006) y los valores de P correspondientes a la prueba de la hipótesis nula de que la correlación es cero. Para cada uno de los usos de suelo o la combinación de estos, los nematodos que presentaron un r.g>0.4 y P<0.05, fueron seleccionados como potenciales géneros indicadores.

Las propiedades de suelo, los índices de diversidad y los nematológicos fueron analizados mediante un modelo lineal, anidado, con los factores (fijos) uso de suelo y sitios anidados en dichos usos de suelo. Para cada modelo se realizó un análisis de la varianza y se utilizaron diferentes gráficos de residuos para evaluar la validez de los supuestos correspondientes. Cuando fue necesario, se modeló la heterogeneidad de varianzas considerando varianzas diferentes según el uso de suelo (Dean et al. 2017; Galecki and Burzykowski 2013). En los casos en que las medias para los distintos usos de suelo presentaron diferencias, se las comparó con pruebas tipo Tukey, considerando un nivel de significación del 5% (Lenth 2021).

Para estudiar las relaciones entre las propiedades de suelo y la comunidad de nematodos en los diferentes usos de suelo se realizó un análisis de redundancia (RDA), de acuerdo con la metodología propuesta por Borcard et al. (2011). Se consideraron a los grupos tróficos de los nematodos como variables respuesta a las cuales se les aplicó una transformación de Hellinger (Legendre

and Gallagher 2001) y a las propiedades de suelo como variables ambientales que fueron estandarizadas. Se comprobó la multicolinealidad y, en el caso de presentar un factor de inflación de varianza mayor a 10, se descartaron las variables que la generaban. A partir de los resultados obtenidos del RDA, se construyó un biplot.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R (versión 4.2.1) (R Core Team 2022). En particular, se utilizaron los paquetes emmeans (versión 1.7.5) (Lenth 2021), hnp (versión 1.2-4) (Moral et al. 2017), ggplot2 (versión 2.2.1) (Wickham 2016), compositions (versión 2.0-4) (van den Boogaart et al. 2022), vegan (versión 2.6-2) (Oksanen et al. 2022), FactoMineR (versión 1.10) (Le et al. 2008), factoextra (versión 1.0.7) (Kassambara and Mundt 2020) e indicpecies (versión 1.7.6) (De Cáceres et al. 2016). Los gráficos se realizaron utilizando el software R (versión 4.2.1) (R Core Team 2022) y Statistica 10 (StatSoft Inc. 2011).

RESULTADOS

Propiedades de suelo

Los usos de suelo muestreados difirieron en todas las propiedades químicas evaluadas. Los sitios bajo pastura presentaron mayor contenido de COS ($P=1.1 \times 10^{-5}$), Nan ($P=1.6 \times 10^{-6}$), N-NO₃ ($P=8.9 \times 10^{-4}$) y humedad del suelo al momento del muestreo ($P=5.4 \times 10^{-13}$) y menor relación C/N ($P=6.9 \times 10^{-14}$) en comparación a los sitios agrícolas, maíz, papa y soja. Los sitios con pasturas presentaron un menor contenido de P-Bray ($P=0.001$), que los sitios con maíz. Los suelos provenientes de papa mostraron un mayor valor de pH ($P=0.006$) que el resto.

Caracterización de la comunidad de nematodos

De los 56 sitios evaluados se extrajo un total de 23777 nematodos; 13% perteneció a los sitios con maíz, 16% a papa, 30% a soja y 41% a los sitios con pastura. Los promedios de la abundancia total de nematodos se encontraron entre 269 y 589 nematodos/100 g suelo seco, y difirieron según los usos de suelo ($P<0.001$), presentando los mayores valores en soja y pastura. Cuando se analizó la abundancia según el grupo trófico de nematodos, se encontraron diferencias significativas entre los usos de suelo ($P<0.001$ para fungívoros, bacteriófagos y omnívoros+depredadores; $P=0.005$ para fitófagos). La mayor

abundancia de fungívoros se presentó en soja, y de bacteriófagos, fitófagos y omnívoros+depredadores en soja y pastura (Tabla 1).

Se identificaron 44 géneros de nematodos (Tabla 2), agrupados en 28 familias: 10 familias y 15 géneros pertenecieron a bacteriófagos; 6 familias y 8 géneros, a fungívoros; 8 familias y 13 géneros, a fitófagos, y 4 familias y 8 géneros pertenecieron a nematodos omnívoros+depredadores. El grupo trófico más abundante fue el de los fitófagos, con el 64% del total de nematodos determinados, seguido por los bacteriófagos, que representaron el 25%; los fungívoros, el 8%, y por último, los nematodos omnívoros+depredadores, que representaron menos del 3% del total de nematodos determinados. Los géneros de nematodos más abundantes fueron *Helicotylenchus*, *Pratylenchus* y *Cruznema*, los que, además, estuvieron presentes en todos los sitios evaluados y representaron 21%, 12% y 10% del total de nematodos extraídos, respectivamente.

En el Análisis compuesto de indicadores se analizaron en total 44 géneros de nematodos, de los cuales 5 fueron seleccionados ($r_g > 0.4$, $P < 0.05$). Este análisis reveló que existían géneros de nematodos muy asociados al uso de suelo soja, pastura y a la combinación soja+pastura (Tabla 3). *Hoplolaimus* estuvo altamente asociado a las pasturas; *Pratylenchus*, *Tylencholaimellus* y *Aphelenchus* fueron frecuentes en Soja, y *Coslenchus*, *Cruznema*, *Acrobeles* y *Paraphelenchus* estuvieron asociados a soja+pastura.

La composición de la comunidad de nematodos de vida libre, clasificada de acuerdo con sus hábitos alimentarios, estuvo influenciada por el tipo de uso de suelo ($P=0.039$) (Figura 3a). Los sitios con maíz y soja tuvieron mayor proporción de fungívoros (29.4% y 30%, respectivamente), mientras que los sitios con papa y pastura presentaron una mayor proporción de bacteriófagos (72% y 74.8%, respectivamente).

Con respecto a la composición de la comunidad de nematodos fitófagos, y según su comportamiento alimentario, se encontraron diferencias entre los usos de suelo ($P=0.049$). Los sitios con pasturas presentaron una mayor proporción de ectoparásitos (58.9%); papa y luego maíz, una mayor proporción de semiendoparásitos

Tabla 1. Características y propiedades químicas de los suelos, abundancia media (individuos/100 g suelo seco, n=3) total y por grupos tróficos de nematodos, índices de diversidad y nematológicos, según uso de suelo. COS: carbono orgánico de suelo; Nan: contenido de nitrógeno producido en incubación anaeróbica; N-NO₃: contenido de nitrógeno como nitratos; P-Bray: contenido de fósforo; C/N: relación carbono/nitrógeno; Humedad: contenido de humedad del suelo; H': índice de diversidad de Shannon-Wiener; J': equidad de Pielou; λ: índice de Simpson; MI: índice de madurez; PPI: índice parásitos de plantas; EI: índice de enriquecimiento; SI: índice de estructura (SI). *Media y error estándar. Letras iguales indican diferencias no significativas entre los usos de suelo (P<0.05).

Table 1. Soil chemical properties and characteristics of the sites, mean abundance (individuals/100 g dry soil, n=3) of total and trophic groups of nematodes, diversity and nematological indices, under different land uses. COS: soil organic carbon; Nan: nitrogen content produced in anaerobic incubation; N-NO₃: nitrogen content as nitrates; P-Bray: phosphorus content; C/N: carbon/nitrogen ratio; Humedad: soil moisture content; H': Shannon-Wiener diversity index; J': Pielou's equity; λ: Simpson's index; MI: maturity index; PPI: plant parasite index; EI: enrichment index; SI: structure index (SI). *Mean and standard error. Equal letters indicate non-significant differences between land uses (P<0.05).

Tipo de suelo	Uso del suelo			
	Maíz Argiudol típico	Papa Argiudol típico	Soja Argiudol típico	Pastura Argiudol típico
Cultivo antecesor	Papa en LC	Descanso	Maíz en LC	Pastura
COS (mg/kg)	0.31±0.04* b**	0.39±0.03 b	0.37±0.03 b	0.69±0.05 a
Nan (mg/kg)	41.8±2.7 b	50.9±2.6 b	49.2±1.4 b	88.5±6.7 a
N-NO ₃ (mg/kg)	12.8±2.5 b	13.9±2.5 b	10.7±2.5 b	23.0±1.9 a
P-Bray (mg/kg)	71.8±5.9 a	55.0±5.9 ab	50.4±5.9 ab	39.6±4.6 b
pH	6.14±0.06 b	6.41±0.06 a	6.16±0.06 b	6.21±0.04 b
C/N	16.1±0.2 a	16.3±0.2 a	14.7±0.2 b	13.2±0.2 c
Humedad (%)	26.3±0.3 b	25.4±0.3 b	26.7±0.3 b	29.8±0.2 a
Abundancia total	269.0±27.8 b*	272.0±29.4 b	589.0±55.3 a	477.0±52.8a
Abundancia fitófagos	181.0±28.4 b	172.0±31.4 b	324.0±40.5 a	256.0±26.5 ab
Abundancia bacteriófagos	41.8±5.4 b	61.8±7.8 a	109.8±13.7 a	156.6±14.9 a
Abundancia fungívoros	22.1±3.6 b	16.1±3.1 b	55.9±6.0 a	24.8±2.9 b
Abundancia omnívoros + depredadores	12.4±2.2 bc	10.1±1.9 c	21.8±3.8 ab	29.5±3.8 a
Índice de Shannon-Wiener (H')	1.89±0.07 b	1.85±0.07 b	2.01±0.07 ab	2.21±0.06 a
Equidad de Pielou (J')	0.72±0.02 ab	0.69±0.02 b	0.76±0.02 ab	0.80±0.02 a
Índice de Simpson (λ)	0.26±0.02 a	0.28±0.02 a	0.20±0.02 ab	0.16±0.02 b
Índice de madurez (MI)	2.06±0.06 a	1.80±0.06 b	1.98±0.06 ab	1.92±0.05 ab
Índice de parásitos de plantas (PPI)	2.75±0.05 a	2.79±0.05 a	2.85±0.05 a	2.46±0.04 b
Índice de enriquecimiento (EI)	71.3±2.5 c	86.9±2.5 a	76.1±2.5 bc	81.3±1.9 ab
Índice de estructura (SI)	51.3±4.8	61.0±4.8	53.9±4.8	63.9±3.7

(55.9% y 46%, respectivamente), y los sitios con soja, una mayor proporción de endoparásitos (47.2%) (Figura 3b).

La composición de la comunidad de nematodos de vida libre, clasificada según su estrategia de vida, no difirió según los distintos usos de suelo (P=0.107) (Figura 3c). Sin embargo, se encontró, en los diferentes sitios de estudio un predominio similar de la proporción de nematodos c-p1 y c-p2, con baja presencia de los nematodos de escala c-p superiores.

Relación entre los grupos tróficos de nematodos y las propiedades de suelo

El análisis de redundancia (RDA) incluyó a cuatro variables de suelo (pH, P-Bray, N-NO₃ y COS), que explicaban el 52.3% (P=0.053) de la variabilidad total de la comunidad de

nematodos (grupos tróficos) para los cuatro usos de suelo. Los dos primeros ejes (RDA1 y RDA2) explicaron el 49.3% de la variabilidad total (Figura 2b). RDA1 presentó una correlación positiva con COS, N-NO₃ y pH, aunque estuvo correlacionado de manera negativa con P-Bray. La abundancia de bacteriófagos correlacionó positivamente con el COS, N-NO₃ y pH, y negativamente con el P-Bray, mientras que los fitófagos presentaron un comportamiento opuesto. Los nematodos fungívoros y omnívoros+depredadores presentaron una baja correlación positiva con pH, COS y N-NO₃.

Índices de diversidad, nematológicos y perfil faunal del suelo

Tanto el índice de diversidad de Shannon (H') como la equidad de Pielou (J') y el índice de Simpson (λ) difirieron según los distintos

Tabla 2. Abundancia media (individuos/100 g suelo seco) y gremio funcional (grupo trófico x escala colonizador-persistente [c-p]) de los géneros de nematodos bajo distintos usos de suelo. *Media y error estándar de la abundancia de nematodos. Letras iguales indican diferencias no significativas entre los usos de suelo ($P<0.05$). Ba: bacteriófagos; Fu: fungívoros; Fi: fitófagos; Om: omnívoros; Pr: depredadores.

Table 2. Mean abundance (individuals/100 g dry soil) and functional guild (trophic group x colonizer-persistent [c-p] scale) of nematode genera under different land uses. *Mean and standard error of nematode abundance. Equal letters indicate non-significant differences between soil uses ($P<0.05$). Ba: bacteriophages; Fu: fungivores; Fi: phytophages; Om: omnivores; Pr: predators.

Familia	Género	Gremio funcional	Uso de suelo			
			Maíz	Papa	Soja	Pastura
Alaimidae	Alaimus	Ba4	0	0	1.36±1.36	0.2±0.2
Anguinidae	Ditylenchus	Fu2	0	1.1±1.1	0	0.6±0.6
Aphelenchidae	Aphelenchus	Fu2	19.4±4.0	12.5±2.9	50.1±23.9	11.6±2.5
Aphelenchidae	Paraphelenchus	Fu2	0.9±0.7	0.3±0.3	3.1±1.1	4.3±0.9
Aphelenchoididae	Aphelenchoides	Fu2	1.3±0.3	0.8±0.8	5.3±2.6	3.0±0.7
Cephalobidae	Acrobelus	Ba2	7.6±2.2	5.9±2.9	20.2±6.6	37.1±11.2
Cephalobidae	Acrobeloides	Ba2	10.4±4.8	7.1±0.9	20.0±10.4	12.8±3.0
Cephalobidae	Cephalobus	Ba2	0	0	1.57±0.8	1.3±0.8
Cephalobidae	Eucephalobus	Ba2	0.5±0.2	0.4±0.2	1.9±1.9	1.0±0.7
Diphtherophoridae	Diphtherophora	Fu3	0	1.0±0.9	3.1±2.1	0.7±0.4
Diplogasteridae		Ba1	1.9±0.9	2.0±1.7	4.1±3.8	0.7±0.4
Diploscapteridae	Diploscapter	Ba1	0	0	0	0.4±0.4
Discolaimidae	Discolaimium	Pr5	0	0	0.3±0.3	0.9±0.7
Discolaimidae	Discolaimoides	Pr5	0	0.3±0.3	0	0
Dolichodoridae	Tylenchorhynchus	Fi3		0.6±0.3	9.3±6.2	0.9±0.9
Dorylaimellidae	Dorylaimellus	Fi5	0	0.1±0.1	1.1±1.1	0
Dorylaimidae	Dorylaimus	Om4	1.8±0.7	0.8±0.3	9.7±4.0	6.6±4.2
Dorylaimidae	Labronema	Om4	4.3±3.0	2.5±0.7	0.2±0.2	0.9±0.60
Dorylaimidae	Mesodorylaimus	Om4	0	0.2±0.2	0	0
Heteroderidae	Meloidogyne	Fi3	0	2.9±1.3	0	12.0±6.3
Hoplolaimidae	Helicotylenchus	Fi3		152.5±104.5	142.8±56.6	27.6±6.3
Hoplolaimidae	Hoplolaimus	Fi3	0.1±0.1	0.3±0.3	0	65.8±34.6
Leptonchidae	Tylencholaimellus	Fu4	1.0±0.3	1.4±0.9	4.1±3.2	4.8±1.7
Leptonchidae	Tylencholaimus	Fu4	0	0	0	0.6±0.6
Monhysteridae	Monhystera	Ba2	0	0	1.6±0.9	1.5±0.7
Mononchidae	Coomansus	Pr4	0	0.8±0.5	2.1±0.6	0.2±0.2
Mononchidae	Mononchus	Pr4	0	0.4±0.2	0.6±0.6	0.3±0.3
Ostellidae		Ba2	0	0	0	0.2±0.2
Panagrolaimidae	Panagrolaimus	Ba1	3.1±0.5	8.4±1.7	8.8±7.0	10.2±1.9
Plectidae	Anaplectus	Ba2	0.8±0.8	0	0.6±0.6	1.0±1.0
Plectidae	Plectus	Ba2	0	0	0.8±0.5	8.2±1.4
Plectidae	Tylocephalus	Ba2	0	0	0	0.7±0.5
Pratylenchidae	Pratylenchus	Fi3	24.9±3.5	33.5±1.1		19.2±8.7
Prismatolaimidae	Prismatolaimus	Ba3	0.5±0.3	1.3±0.7	0.6±0.6	0.9±0.9
Qudsianematidae	Eudorylaimus	Om4	1.8±1.1	0.3±.3	2.1±1.9	2.9±1.8
Rhabditidae	Cruzinema	Ba1	10.1±0.9	25.2±7.4	49.0±21.3	72.6±21.4
Rhabditidae	Mesorhabditis	Ba1	1.8±0.7	1.7±0.7	0	1.1±0.3
Rhabditidae	Rhabditis	Ba1	5.0±1.4	11.4±5.5	18.2±2.4	16.5±1.8
Trichodoridae	Paratrichodorus	Fi4	0	0.2±0.2	0	0
Trichodoridae	Trichodorus	Fi4	0	0.1±0.1	0.6±0.6	0
Tylenchidae	Boleodorus	Fi2	0	0	0	1.8±1.8
Tylenchidae	Coslenchus	Fi2	1.6±0.8	4.1±3.7	18.5±17.8	77.3±15.9
Tylenchidae	Neopsilenchus	Fi2	0.2±0.2	0.1±0.1	0	0
Tylenchidae	Tylenchus	Fi2	25.2±4.3	30.0±7.4	36.7±15.2	47.2±10.5
Tylenchidae	Filenchus	Fu2	0	0	0.9±0.5	0
Tylenchulidae	Paratylenchus	Fi2	2.1±1.1	0.4±0.2	4.4±4.4	10.4±6.7

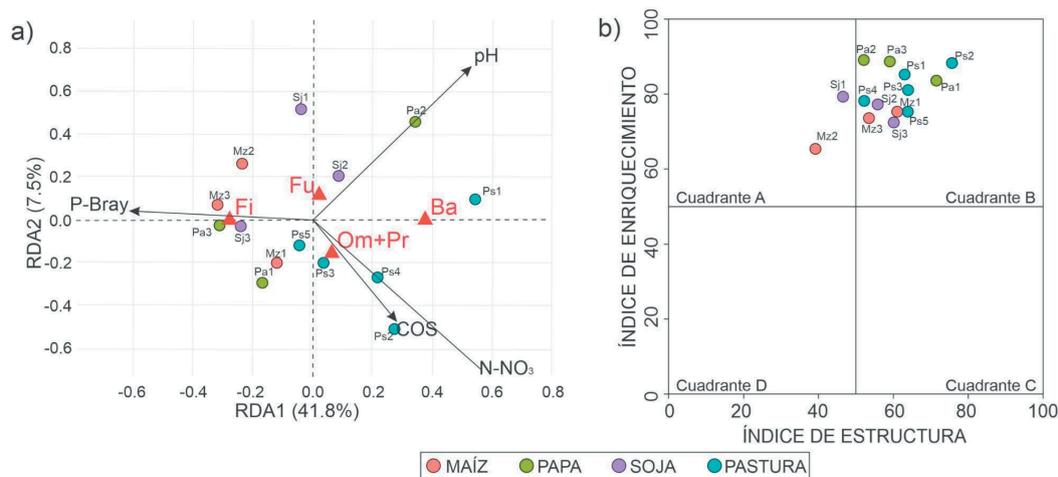


Figura 2. a) Análisis de redundancia (RDA) entre las propiedades de suelo y los grupos tróficos de nematodos. b) Condición de la red trófica del suelo en cada sitio muestreado con base a intersección de los índices de enriquecimiento (EI) e índice de estructura (SI), de acuerdo con Ferris et al. (2001). COS: carbono orgánico del suelo; N-NO₃: nitrógeno del suelo bajo la forma de nitrato; Nan: nitrógeno (N-NH₄⁺) producido en incubación anaeróbica; P-Bray: contenido de fósforo; pH: valor de pH; C/N: relación carbono-nitrógeno; Ba: bacteriófagos; Fu: fungívoros; Fi: fitófagos; Om+Pr: omnívoros y depredadores.

Figure 2. a) Redundancy analysis (RDA) between soil properties and nematode trophic groups. b) Condition of the soil food web at each sampled site based on the intersection of the enrichment index (EI) and structure index (SI), according to Ferris et al. (2001). N-NO₃: soil nitrogen in the form of nitrate; Nan: nitrogen (N-NH₄⁺) produced in anaerobic incubation; P-Bray: phosphorus content; pH: pH value; C/N: carbon-to-nitrogen ratio; Ba: bacteriophages; Fu: fungivores; Fi: phytophages; Om+Pr: omnivores and predators.

usos de suelo ($P=0.002$, $P=0.005$ y $P=0.001$, respectivamente). Cuando el uso de suelo fue papa y maíz, los valores medios de H' y J' fueron menores a los de la pastura. En el caso de λ , solo se detectaron diferencias entre los usos papa y pastura, siendo menor en esta última (Tabla 1).

El índice de madurez (MI), que se centra en los taxones de vida libre, difirió según los distintos usos de suelo ($P=0.037$) y presentó valores medios estimados entre 1.80 y 2.06; el mayor valor correspondió a maíz, y el menor, a papa (Tabla 1). En el índice de parásitos de plantas (PPI) se observaron diferencias significativas según los distintos usos de suelo ($P=5.037 \times 10^{-8}$) y presentó valores medios estimados entre 2.46 y 2.85, siendo mayor en los sitios con cultivos agrícolas (maíz, papa y soja) (Tabla 1). El índice de enriquecimiento (EI) difirió según los distintos usos de suelo ($P=5.7 \times 10^{-4}$) y presentó valores medios estimados entre 71.3 y 86.9; los mayores promedios correspondieron a papa y pastura, y los menores, a maíz. En cuanto al índice de estructura (SI), no se encontraron diferencias significativas entre los usos de suelo estudiados ($P=0.152$), presentando en todos los casos valores medios estimados entre 51.3 y 63.9.

Tabla 3. Géneros específicos para los usos de suelo y combinaciones de estos, sobre la base del análisis compuesto de indicadores utilizando la comunidad de nematodos. ($\alpha=0.05$). r.g: coeficiente de correlación biserial puntual corregido.

Table 3. Genera specific to land uses and combinations thereof, based on composite indicator analysis using the soil nematode community. ($\alpha=0.05$). r.g: corrected point biserial correlation coefficient.

Uso del suelo	Géneros	r.g	P
Pastura	<i>Hoplolaimus</i>	0.531	0.0009
Soja	<i>Pratylenchus</i>	0.713	0.0001
	<i>Tylencholaimellus</i>	0.527	0.0012
	<i>Aphelenchus</i>	0.457	0.0023
Pastura + soja	<i>Coslenchus</i>	0.546	0.0003
	<i>Cruzinema</i>	0.500	0.0012
	<i>Acrobeles</i>	0.460	0.0040
	<i>Paraphelenchus</i>	0.424	0.0092

En la representación gráfica del perfil faunal del suelo se observó que todas las muestras analizadas se ubicaron entre los cuadrantes A y B (Figura 2b). Es decir, entre redes tróficas que se encuentran de disturbadas a maduras.

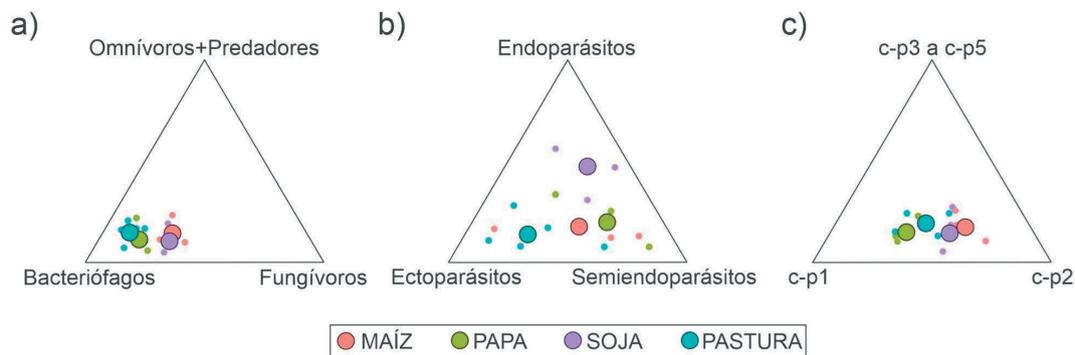


Figura 3. Análisis composicional de la comunidad de nematodos de vida libre (a) y fitófagos (b), clasificada según sus hábitos alimentarios, y para la comunidad de nematodos de vida libre, clasificada según su estrategia de vida (c) para los distintos usos de suelo. Los puntos pequeños representan la composición en cada sitio, mientras que los puntos grandes corresponden a las medias geométricas composicionales de cada uso de suelo.

Figure 3. Compositional analysis of the free-living (a) and phytophagous (b) nematode community, classified according to their feeding habits, and for the free-living nematode community, classified according to their life strategy (c) for the different soil uses. The small dots represent the composition at each site, while the large dots correspond to the compositional geometric means for each land use.

DISCUSIÓN

Los nematodos se han usado a nivel mundial como indicadores de la salud del suelo (Sánchez-Moreno et al. 2008; Zhao and Neher 2013; Pan et al. 2016; Pan et al. 2022). En nuestro país se realizaron trabajos en los que se evalúa a los nematodos en ensayos experimentales (Mondino 2001, 2010), pero no teníamos información sobre la estructura de las comunidades en estudios a campo. Nuestro trabajo fue realizado en sistemas de producción típicos del partido de Balcarce y de gran parte del sudeste bonaerense.

La caracterización de los suelos según sus propiedades químicas permitió separar los sitios de estudio según su uso de suelo. Los suelos bajo pasturas presentaron un mayor contenido de COS, N-NO₃ y Nan, con un menor contenido de P-Bray. La inclusión de pasturas en una rotación permite incrementar el contenido de materia orgánica del suelo debido a su mayor y más continua producción de biomasa aérea y subterránea (Studdert 2006), y a la excelente distribución y mezcla de precursores de la materia orgánica dejados por sus raíces (Haynes et al. 1991). Asimismo, la ausencia de disturbios del suelo por períodos prolongados contribuye a mejorar el ambiente físico y la humificación de los residuos (Studdert and Echeverría 2002). El menor contenido de P-Bray de las pasturas puede deberse a la extracción continua de este nutriente sin la adecuada reposición, a diferencia de los cultivos agrícolas, que son fertilizados anualmente para cumplir con

los requerimientos de fósforo del cultivo. El aumento del contenido de Nan observado en las pasturas con respecto a los usos agrícolas indicaría una mayor actividad biológica del sistema suelo (Videla et al. 2005).

La abundancia total y por grupos tróficos estuvo influenciada por los usos de suelo. La abundancia total de nematodos fue mayor en soja y pastura; estos resultados son consistentes con estudios previos reportados por Zhong et al. (2017). La mayor abundancia en estos sitios se puede asociar con la mayor humedad del suelo que presentan los suelos agrícolas que no tienen labranzas y los sitios ganaderos. Además, en el caso de las pasturas, los animales en pastoreo aumentan la diversidad de los recursos alimenticios disponibles para los nematodos, ya que a través de sus deyecciones pueden aumentar la abundancia de microorganismos del suelo de los que se alimentan los nematodos bacteriófagos (Pan et al. 2022). La mayor abundancia de bacteriófagos en los sitios con pastura coincide con lo reportado por Carneiro de Lima da Silva et al. (2020) y se debe a que estos nematodos son predominantes en zonas de mayor diversidad y biomasa vegetal (Tomazini et al. 2008). Además, en estos sitios la deposición de material orgánico en la capa superficial del suelo es mayor, lo cual favorece el desarrollo de bacterias y hongos (Li et al. 2015) y, por lo tanto, de los nematodos bacteriófagos y fungívoros (Treonis et al. 2010). La menor abundancia de fungívoros en los sitios agrícolas que presentaban labranzas

(maíz: 1 año LC, papa: dos años consecutivos de LC) puede deberse a que durante el proceso de labranza, el micelio fúngico puede dañarse (Helgason et al. 2009), lo que provoca una disminución de la abundancia fúngica en los suelos intensamente laboreados (Hydbom et al. 2017) y una reducción de la presencia de los nematodos fungívoros. Por otra parte, las prácticas de labranza conservacionista o sin labranza —como sería el caso de la soja o la pastura— generan un mejor acceso a sustratos y nutrientes, en particular en la capa superior del suelo, así como condiciones microclimáticas más favorables que, además, pueden beneficiar el crecimiento de hongos en el suelo (Sae-Tun et al. 2022). En este estudio, los suelos con baja perturbación física (SD: soja o animales en pastoreo: pastura) presentaron mayor cantidad de omnívoros+depredadores que aquellos suelos con LC (maíz y papa). Estos nematodos están asociados de manera directa con la estabilidad física del medio y con la complejidad de la red trófica del suelo, que generan las condiciones anteriormente señaladas (Okada and Harada 2007; Wang et al. 2022).

En el presente estudio, a través del análisis compuesto de indicadores se determinaron algunos géneros de nematodos asociados al uso de suelo soja, otros a pastura y, por otro lado, a la combinación soja+pastura. La presencia del nematodo fitófago *Pratylenchus* en los sitios con soja coincide con la bibliografía, ya que este nematodo fue reportado como fitoparásito asociado al cultivo de soja (Saikai and MacGuidwin 2022). Por otra parte, los nematodos fungívoros *Tylencholaimellus* y *Aphelenchus* presentaron una alta correlación por este uso de suelo debido al menor impacto de la LC sobre los hongos de suelo que favorecen el desarrollo de estos nematodos (Mondino 2001; Zhang et al. 2020). El nematodo asociado a la pastura fue *Hoplolaimus*. Este es un nematodo fitófago muy reportado como parásito de *Medicago sativa* (alfalfa) (Nemaplex 2023), componente principal de las mezclas que formaban las pasturas en este estudio.

El índice MI expresa la condición de un ecosistema en base al estado de sucesión de la comunidad de nematodos de vida libre (Bongers 1990). En nuestro estudio, todos los sitios evaluados presentaron valores bajos de MI (cerca de 2), lo cual indica un grado elevado de perturbación, con una estructura reducida de la red trófica del suelo (Du

Preez et al. 2022). Además, a diferencia de lo esperado y de lo reportado por Kimenju et al. (2009), los sitios de maíz que presentaban mayor intensidad de uso de suelo (dos años consecutivos de LC) registraron el mayor MI, mientras que papa (con un solo año de LC) presentó el menor valor. Esto puede explicarse porque en el cultivo de maíz, el tiempo que transcurre entre las dos labranzas y la menor intensidad de esta en el año de siembra del cultivo permiten que la comunidad de nematodos recupere taxones de mayor c-p. En cambio, en el cultivo de papa, las prácticas típicas de implantación y de manejo suelen ser más agresivas y continuas en el tiempo, lo que genera una perturbación física mayor que afecta a la comunidad de nematodos. En cuanto a las pasturas, se esperaba un mayor valor de MI por ausencia de perturbación física. Sin embargo, el efecto de las deyecciones de los animales en pastoreo generó una perturbación química que modificó a la comunidad de microorganismos del suelo (bacterias) y elevó la abundancia de bacteriófagos oportunistas, que disminuyen el MI (Bongers and Bongers 1998).

El índice PPI es una versión del MI que considera solo a los nematodos fitófagos (Bongers 1990). En nuestro trabajo, todos los sitios evaluados presentaron valores menores a 3, lo que indica una mayor predominancia de nematodos fitófagos pequeños (Sánchez-Moreno and Ferris 2018; Du Preez et al. 2022). Los mayores valores en los sitios agrícolas con respecto a las pasturas coincide con Swibawa y Aeny (2010), quienes reportaron que en los sitios con mayor enriquecimiento por fertilización química anual, el PPI es mayor; mientras tanto, los cultivos perennes (e.g., las pasturas) presentan una menor disponibilidad de nutrientes fácilmente disponibles y menor PPI (Bongers 1997; Swibawa and Aeny 2010).

El índice EI es un indicador de la disponibilidad y el enriquecimiento de nutrientes (Biswal 2022). En nuestro estudio, todos los sitios presentaron valores de EI superiores a 70, indicando una alta disponibilidad de nutrientes en todos los ambientes estudiados. Los mayores valores de EI en papa y pastura, con respecto al maíz, se deben a que por un lado, el cultivo de papa recibe una fertilización alta durante su ciclo productivo, una práctica común en la zona de estudio. Mientras tanto, la pastura presenta el aporte de las deyecciones de los animales. Esto se refleja en el mayor contenido

de nitrógeno disponible (Nan y N-NO₃) en el suelo en pastura, principalmente, y en menor medida, en papa.

El índice SI es un indicador de la estructura y complejidad de la red alimentaria del suelo, así como de la capacidad del suelo para suprimir especies oportunistas (Ferris et al. 2001). En todos los sitios evaluados, el índice SI presentó valores medios (entre 50 y 60); eso significa que las prácticas de todos los ambientes afectaron a estos grupos de nematodos. En el caso de los sitios agrícolas, fueron las prácticas agronómicas propias de los sistemas de cultivos (labranza, siembra, fertilización), mientras que en las pasturas, dicho efecto de perturbación lo ocasionaron los animales en pastoreo con sus deyecciones.

El perfil faunal del suelo es una representación gráfica bidimensional que surge de la combinación entre la trayectoria de enriquecimiento y la de estructura, y permite determinar si la red trófica de la comunidad estudiada se ajusta a alguno de los cuadrantes explicados por Ferris et al. (2001). Estos autores establecieron 4 estados de la red trófica, caracterizados de la siguiente manera: disturbada (cuadrante A), madura (cuadrante B), estructurada (cuadrante C) y degradada (cuadrante D). Se observó que el 85% de los sitios se ubicaron en el cuadrante B; es decir, en una red trófica madura (Ferris et al. 2001). Esta red trófica se caracteriza por encontrarse enriquecida con nitrógeno, con una relación C:N baja y un canal de descomposición de la materia orgánica balanceado entre hongos y bacterias, con un disturbio moderado a bajo. La ubicación de los distintos sitios en los cuadrantes coincide con lo reportado por Mondino (2010) para suelos de la misma región y con distinta intensidad de uso de suelo, y con lo reportado por Ferris et al. (2001). Estos autores establecieron una guía de diagnóstico específico en distintos sistemas de producción primario, y ubicaron a las pasturas manejadas entre los cuadrantes A y B, y a los cultivos anuales entre los cuadrantes A, B y D.

CONCLUSIONES

El estudio de las comunidades de nematodos de suelo en distintos sistemas de producción

agrícola y ganaderos del partido de Balcarce genera aportes clave para comprender los cambios que ocurren en las comunidades a través de las prácticas antropogénicas en la zona de estudio. En el presente estudio se determinaron algunos géneros específicos de nematodos asociados al uso de suelo soja (*Pratylenchus*, *Tylencholaimellus* y *Aphelenchus*) y pastura (*Hoplolaimus*). Por otra parte, nuestros resultados indican que las comunidades de nematodos se ven afectadas por las prácticas agronómicas utilizadas en los diferentes sitios de producción. De acuerdo con la composición de nematodos se observó que la comunidad asociada a los sitios con mayor disturbio agrícola (maíz y papa) presentó un ensamble diferente y menos diverso que aquellas comunidades asociadas a los sitios con menor disturbio (soja y pastura). Los índices nematológicos reflejaron que el estado sucesional de las comunidades de nematodos se vio interrumpido por las prácticas de los usos de suelos. Esto se confirmó a través del diagnóstico del perfil faunal, demostrando que —independientemente del uso de suelo evaluado— la mayoría de las redes tróficas eran afectadas por las prácticas agronómicas al presentar redes maduras. Este es el primer reporte de resultados obtenidos en sitios de producción agrícola y ganadera del partido de Balcarce, sudeste de la provincia de Buenos Aires, ya que los estudios precedentes fueron realizados en ensayos de áreas experimentales de la EEA INTA Balcarce. Sin embargo, hay que considerar que los sitios con pastura provenían de dos campos adyacentes de una misma zona de producción, lo cual no permite hacer una proyección regional de los resultados obtenidos en este uso de suelo. Futuros estudios podrían ser realizados en diferentes regiones agroclimáticas y tipos de suelo de la provincia de Buenos Aires y de la Argentina a fin de comprender el efecto de las prácticas antropogénicas sobre las comunidades de nematodos de suelo.

AGRADECIMIENTOS. Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y es parte de la tesis doctoral de Andrea Julieta Thounon Islas que se desarrolla en la Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Mar del Plata.

REFERENCIAS

- Aitchison, J. 1982. The statistical analysis of compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)* 44(2):139-160. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1982.tb01195.x>.
- Aitchison, J. 2005. A concise guide to compositional data analysis. 2do Compos Data Anal Workshop CoDaWork 5: 17-21.
- Biswal, D. 2022. Nematodes as ghosts of land use past: elucidating the roles of soil nematode community studies as indicators of soil health and land management practices. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 194(5):2357-2417. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03808-9>.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83(1):14-19. <https://doi.org/10.1007/BF00324627>.
- Bongers, T., H. van der Meulen, and G. Korthals. 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology* 6(2):199-199. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(96\)00136-9](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(96)00136-9).
- Bongers, T. 1999. The maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. *Plant and Soil* 212(1):13-22. <https://doi.org/10.1023/A:1004571900425>.
- Bongers, T., and M. Bongers. 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10(3):239-251. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00123-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00123-1).
- Borcard, D., F. Gillet, and P. Legendre. 2011. Numerical ecology with R. Springer, New York, USA. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71404-2>.
- Bray, R. H., and L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1):39-46. <https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>.
- Bonkowski, M., C. Villenave, and B. Griths. 2009. Rhizosphere fauna: The functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. *Plant Soil* 321:213-233. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0013-2>.
- Bünemann, E. K., G. Bongiorno, Z. Bai, R. E. Creamer, G. De Deyn, et al. 2018. Soil quality-A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120:105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>.
- Chaves, E. J., G. Cap, M. Torres, and M. M. Echeverría. 1998. Informe del plan de trabajo Caracterización y distribución de nematodos de importancia cuarentenaria en la provincia de Buenos Aires. INTA. Programa 13-0173. EEA Balcarce. Pp. 19.
- Chaves, E. J., and M. Torres. 1993. Nematodos parásitos de la papa del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* N° 115. Pp. 21.
- Chaves, E. J., M. M. Echeverría, H. Merlo Álvarez, and A. Salas. 2019. Clave para determinar géneros de nematodos del suelo de la República Argentina. Fundación de Historia Natural Félix de Azara Centro de Ciencias Naturales y Antropológicas Universidad Maimónides, Buenos Aires.
- De Cáceres, M., F. Jansen, and N. Dell. 2016. Indicspecies: relationship between species and groups of sites. R package version 1(6).
- De Cáceres, M., and P. Legendre. 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology* 90(12):3566-74. <https://doi.org/10.1890/08-1823.1>.
- Dean, A., D. Voss, and D. Draguljić. 2017. Design and analysis of experiments, 2nd edition, Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52250-0>.
- Demétrio, C. G. B., J. Hinde, and R. A. Moral. 2014. Models for overdispersed data in entomology. Pp. 219-259 *en* C. P. Ferreira and W. A. C. Godoy (eds.). *Ecological Modelling Applied to Entomology. Entomology in Focus. Vol 1*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06877-0_9.
- Dietrich, P., A. Roeder, S. Cesarz, N. Eisenhauer, A. Ebeling, et al. 2020. Nematode communities, plant nutrient economy and life-cycle characteristics jointly determine plant monoculture performance over 12 years. *Oikos* 129(4) 466-479. <https://doi.org/10.1111/oik.06989>.
- Dunn, P. K., and G. K. Smith. 2018. Generalized linear models with examples in R. Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0118-7>.
- Du Preez, G., M. Daneel, R. De Goede, M. J. Du Toit, H. Ferris, et al. 2022. Nematode-based indices in soil ecology: Application, utility, and future directions. *Soil Biology and Biochemistry* 169:108640. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108640>.
- Ferris, H., T. Bongers, and R. De Goede. 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18(1):13-29. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00152-4).
- Fiscus, D. A., and D. A. Neher. 2002. Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. *Ecological Applications* 12(2):565-575. <https://doi.org/10.2307/3060963>.
- Frampton, G. K. 1997. The potential of Collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. *Pedobiologia* 41(1):179-184. [https://doi.org/10.1016/S0031-4056\(24\)02992-5](https://doi.org/10.1016/S0031-4056(24)02992-5).
- Galecki, A., and T. Burzykowski. 2013. Linear mixed-effects models using R. Springer, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3900-4>.
- Haynes, R., R. Swift, and R. Stephen. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil and Tillage Research* 19(1):77-87. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90111-A](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90111-A).
- Helgason, B. L., F. L. Walley, and J. J. Germida. 2009. Fungal and bacterial abundance in long-term no-till and intensive-

- till soils of the Northern Great Plains. *Soil Science Society of America Journal* 73(1):120-127. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0392>.
- Heyns, J. 1971. A guide to the plant and soil nematodes of South Africa. Balkema, AA. Cape Town. Pp. 233.
- Carneiro de Lima da Silva, J. V., M. N. C. Hirschfeld, J. E. Cares, and A. M. Esteves. 2020. Land use, soil properties and climate variables influence the nematode communities in the Caatinga dry forest. *Applied Soil Ecology* 150:103474. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103474>.
- Hooper, D. 1986. Handling, fixing, staining, and mounting nematodes. Pp. 50-58 *en* J. Southey (ed.). *Laboratory methods for work with plant and soil nematodes*. Reference Book 402. Ministry of Agriculture, London, UK.
- Hydbom, S., M. Ernfors, J. Birgander, J. Hollander, E. S. Jensen, et al. 2017. Reduced tillage stimulated symbiotic fungi and microbial saprotrophs but did not lead to a shift in the saprotrophic microorganism community structure. *Applied Soil Ecology* 119:104-114. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.032>.
- Ingham, R. E., J. A. Trofymow, E. R. Ingham, and D. C. Coleman. 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecol Monogr* 55(1):119-140. <https://doi.org/10.2307/1942528>.
- Ito, T., M. Araki, M. Komatsuzaki, N. Kaneko, and H. Ohta. 2015. Soil nematode community structure affected by tillage systems and cover crop managements in organic soybean production. *Appl Soil Ecol* 86:137-147. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.10.003>.
- Jenkins, W. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 48(9):692.
- Khan, Z., and Y. H. Kim. 2007. A review on the role of predatory soil nematodes in the biological control of plant parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology* 35(2):370-379. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.07.007>.
- Kassambara, A., and F. Mundt. 2020. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7.
- Keeney, D. R. 1982. Nitrogen-availability indices. Pp. 711-733 *en* A. L. Page (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, WI. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c33>.
- Keeney, D. R., and D. W. Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. Pp. 643-698 *en* A. L. Page (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2da edición. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c33>.
- Kimenju, J., N. Karanja, G. K. Mutua, B. Rimberia, and P. Wachira. 2009. Nematode community structure as influenced by land use and intensity of cultivation. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 11(2):353-360.
- Le, S., J. Josse, and F. Husson. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software* 25(1):1-18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>.
- Leco. 2013. Organic application notes. URL: leco.com.
- Lehmann, J., D. A. Bossio, I. Kögel-Knabner, and M. C. Rillig. 2020. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth and Environment* 1:544-553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.
- Lenth, R. V. 2021. emmeans: Estimated Marginal Means, akaLeast-Squares Means. R package version 1.6.3.
- Li, Y., G. Yang, D. A. Neher, C. Y. Xu, and J. Wu. 2015. Status of soil nematode communities during natural regeneration of a subtropical forest in southwestern China. *Nematology* 17:79-90. <https://doi.org/10.1163/15685411-00002853>.
- Lu, Q., T. Liu, N. Wang, Z. Dou, K. Wang, et al. 2020. A review of soil nematodes as biological indicators for the assessment of soil health. *Front Agric Sci Eng* 7:275-281. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020327>.
- McCullagh, P., and J. Nelder. 1989. *Generalized linear models*. Chapman and Hall, London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3242-6>.
- Marais, M., A. Swart, H. Fourie, S. D. Berry, R. Knoetze, et al. 2017. Techniques and procedures. Pp. 73-118 *en* H. Fourie, V. W. Spaull, R. K. Jones, M. S. Daneel and D. De Waele (eds.). *Nematology in South Africa: a View from the 21st Century*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44210-5_4.
- Mondino, E. A. 2010. Comunidad de nematoides do solo, no ecossistema do Pampa Austral da Argentina, sob diferentes sistemas de cultivo. Tesis doctoral. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pp. 102.
- Mondino, E. A., E. J. Chaves, and G. A. Studdert. 2001. Efecto de las rotaciones, las labranzas y la fertilización nitrogenada sobre la nematofauna del suelo. Tesis de Maestría en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Pp. 66.
- Moral, R. A., J. Hinde, and C. G. B. Demétrio. 2017. Half-normal plots and overdispersed models in R: the hnp package. *Journal of Statistical Software* 81(10):1-23. <https://doi.org/10.18637/jss.v081.i10>.
- Neher, D. A. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33(4):161-168.
- Neher, D., T. Bongers, and H. Ferris. 2004. Computation of nematode community indices. Pp. 33 *en* *Society of Nematologists Workshop*. Vol. 2.
- Ney, L., D. Franklin, K. Mahmud, M. Cabrera, D. Hancock, et al. 2019. Sensitivity of nematode community analysis to agricultural management practices and inoculation with local effective microorganisms in the Southeastern United States. *Soil Syst* 3(2):41. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3020041>.
- Okada, H., and H. Harada. 2007. Effects of tillage and fertilizer on nematode communities in a Japanese soybean field. *Applied Soil Ecology* 35(3):582-598. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.09.008>.
- Oksanen, J., G. L. Simpson, F. Guillaume Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, et al. 2022. vegan: Community Ecology Package. R package versión 2.6-2.
- Pan, F., R. Yan, J. Zhao, L. Li, Y. Hu, et al. 2022. Effects of grazing intensity on soil nematode community structure and

- function in different soil layers in a meadow steppe. *Plant and Soil* 471(1-2):33-46. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05096-4>.
- Pan, F., N. Li, W. Zou, X. Han, and N. B. McLaughlin. 2016. Soil nematode community structure and metabolic footprint in the early pedogenesis of a Mollisol. *European Journal of Soil Biology* 77:17-25. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.09.004>.
- Pielou, E. C. 1969. An introduction to mathematical ecology. *Bioscience* 78(1):7-12.
- QGIS Development Team. 2017. QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. URL: qgis.org.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: R-project.org.
- Ruf, A. 1998. A maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. *Applied Soil Ecology* 9(1):447-452. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00103-6).
- Sae-Tun, O., G. Bodner, C. Rosinger, S. Zechmeister-Boltenstern, A. Mentler, et al. 2022. Fungal biomass and microbial necromass facilitate soil carbon sequestration and aggregate stability under different soil tillage intensities. *Applied Soil Ecology* 179:104599. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104599>.
- Saikai, K., and A. E. MacGuidwin. 2022. Impact of *Pratylenchus penetrans* on soybeans grown in Wisconsin, USA. *Plant Disease* 106(11):2904-2910. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-1888-RE>.
- Sánchez-Moreno, S., H. Minoshima, H. Ferris, and L. E. Jackson. 2006. Linking soil properties and nematode community composition: effects of soil management on soil food webs. *Nematology* 8(5):703-715. <https://doi.org/10.1163/156854106778877857>.
- Sánchez-Moreno, S., S. Smukler, H. Ferris, A. T. O'geen, and L. E. Jackson. 2008. Nematode diversity, food web condition, and chemical and physical properties in different soil habitats of an organic farm. *Biology and Fertility of Soils* 44(5): 727-744. <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0256-0>.
- Sánchez-Moreno, S., and M. Talavera. 2013. Los nematodos como indicadores ambientales en agroecosistemas. *Revista Ecosistemas* 22(1):50-55.
- Sánchez-Moreno, S., and H. Ferris. 2018. Nematode ecology and soil health. Pp. 62-86 *en* R. A. Sikora, D. Coyne, J. Hallmann and P. Timper (eds.). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Wallingford UK: CAB International.
- Schratzberger, M., M. Holterman, D. van Oevelen, and J. Helder. 2019. A worm's world: Ecological flexibility pays off for free-living nematodes in sediments and soils. *BioScience* 69(11):867-876. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz086>.
- Siddiqi, M. R. 2000. *Tylenchida: parasites of plants and insects*. CABI, Wallingford, UK. Pp. 800. <https://doi.org/10.1079/9780851992020.0000>.
- Sieriebriennikov, B., H. Ferris, and R. G. De Goede. 2014. NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring. *European Journal of Soil Biology* 61:90-93. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.02.004>.
- Soto, R. L. 2016. Nematodes as soil quality indicators in coffee systems. MSc Thesis. Organic Agriculture - Farming System Ecology, Wageningen University. Pp. 53.
- StatSoft, Inc. 2011. STATISTICA (data analysis software system), version 10. URL: statsoft.com.
- Studdert, G. A. 2006. Rotaciones de cultivos en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina): una herramienta para el manejo de la dinámica del nitrógeno y del carbono en el suelo. Tesis doctoral. Universitat de Lleida, Escola Tècnica Superior D' Enginyeria Agrària. Llérida, Catalunya, España. Pp. 195.
- Studdert, G. A., and H. E. Echeverría. 2002. Rotaciones mixtas, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el Sudeste bonaerense in *Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (CD)*. 16 - 19 de abril. Puerto Madryn, Chubut, Argentina. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACs), Buenos Aires, Argentina.
- Sun, F., K. Pan, A. Tariq, L. Zhang, X. Sun, et al. 2016. The response of the soil microbial food web to extreme rainfall under different plant systems. *Sci Rep* 6:37662. <https://doi.org/10.1038/srep37662>.
- Swibawa, I. G., and T. N. Aeny. 2010. Nematode diversity in a range of land use types in Jambi Benchmark Indonesia. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 10(2):162-171. <https://doi.org/10.23960/j.hppt.210162-171>.
- Tichy, L., and M. Chytrý, M. 2006. Statistical determination of diagnostic species for site groups of unequal size. *Journal of Vegetation science* 17(6):809-818. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2006.tb02504.x>.
- Tomazini, M. D., L. C. B. Ferraz, and A. R. Monteiro. 2008. Abundância e diversidade de nematóides em áreas contíguas de vegetação natural e submetida a diferentes tipos de uso do solo. *Nematologia brasileira* 32:185-193.
- Treonis, A. M., E. H. Michelle, C. A. O'Leary, E. E. Austin, and C. B. Marks. 2010. Identification and localization of food-source microbial nucleic acids inside soil nematodes. *Soil Biology and Biochemistry* 42(11):2005-2011. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.07.026>.
- van den Boogaart, K. G., R. Tolosana-Delgado, and M. Bren. 2022. *Compositions: Compositional Data Analysis*. R package versión 2.0-4.
- Vargas Gil, S., S. Benintende, S. Toresani, F. Covacevich, E. A. Mondino, et al. 2017. *Biología de Suelos*. Pp. 91-145 *en* D. J. Santos, M. G. Wilson and M. M. Ostinelli (eds.). *Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo: Protocolos básicos comunes*. 2° edición. Entre Ríos, Ediciones INTA.
- Videla, C., A. Pazos, P. C. Trivelin, H. E. Echeverría, and G. A. Studdert, G.A. 2005. Mineralización bruta de nitrógeno bajo labranza convencional, siembra directa y pastura. *Ciencia del Suelo* 23(2):1850-2067.

- Volz, P. 1951. Untersuchungen über die Mikrofauna des Waldbodens. *Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere* 79:514-566.
- Wang, K. H., P. Waisen, A. W. Leslie, R. Paudel, S. L. Meyer, et al. 2022. Relationships between Soil Tillage Systems, Nematode Communities and Weed Seed Predation. *Horticulturae* 8(5):425. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050425>.
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>.
- Yeates, G., T. Bongers, R. De Goede, D. Freckman, and S. Georgieva. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25(3):315-331.
- Yeates, G., and T. Bongers. 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74(1):113-135. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00033-X).
- Yeates, G. W. 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils* 37(4):199-210. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0586-5>.
- Zhang, G., X. Sui, Y. Li, M. Jia, Z. Wang, et al. 2020. The response of soil nematode fauna to climate drying and warming in *Stipa breviflora* desert steppe in Inner Mongolia, China. *Journal of Soils and Sediments* 20:2166-2180. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02555-5>.
- Zhang, Y., S. Li, H. Li, R. Wang, K. Q. Zhang, et al. 2020. Fungi-nematode interactions: Diversity, ecology, and biocontrol prospects in agriculture. *Journal of Fungi* 6(4):206. <https://doi.org/10.3390/jof6040206>.
- Zhao, J., and D. A. Neher. 2013. Soil nematode genera that predict specific types of disturbance. *Applied Soil Ecology* 64:135-141. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.11.008>.
- Zhong, S., H. C. Zeng, and Z. Q. Jin. 2017. Influences of different tillage and residue management systems on soil nematode community composition and diversity in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry* 107:234-243. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.01.007>.