

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE NEMATODOS DEL SUELO BAJO DOS NIVELES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN ALTO VALLE DE RÍO NEGRO, ARGENTINA

Claudia Viviana Azpilicueta^{1*}, María Cristina Aruani², Pablo Daniel Reeb²
y Enrique Eduardo Sánchez³

¹Laboratorio de Servicios Agrarios y Forestales (LASAF), Ministerio de Producción. Santiago del Estero 426-(8300) Neuquén-Argentina. 54-299-4483823, ²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue (UNCo), Río Negro-Argentina; ³Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle de Río Negro (INTA)-Argentina; *Autor para correspondencia: lasaf_suelos@neuquen.gov.ar.

ABSTRACT

Azpilicueta, C. V., M. C. Aruani, P. D. Reeb, and E. E. Sánchez. 2008. Structure of the soil nematode community under two levels of nitrogen fertilization in Alto Valle del Río Negro, Argentina. *Nematologica* 38:75-86.

The effect of fertilization with nitrogen on the abundance of plant-parasitic and free-living nematodes in soil was determined. Nematode community indices and their relation with nitrate availability were evaluated in Alto Valle del Río Negro, in an apple orchard under a conservationist management system. Treatments were 2 doses of nitrogen (N) applied as ammonium nitrate, 75 kg ha⁻¹ (N75) and 150 kg ha⁻¹ (N150), 50% at the time of petal fall and 50% thirty days after, and one unfertilized control (N0). Nitrogen fertilization caused changes in some trophic groups, families, and genera of nematodes during 2005-2006 and 2006-2007. Under all the conditions evaluated, the trophic structure was dominated by plant-parasitic nematodes, with predominance of specimens of the genus *Hemicycliophora*. The fungivore-bacterivore ratio (FB) was significantly lower in the treated plots, indicating a higher contribution of the bacterial-feeding nematodes to the decomposition processes of soil. The plant-parasitic nematode index (PPI) was not affected by treatments, but the maturity index (IM) for free-living nematodes responded to nitrogen fertilization with a higher frequency of opportunistic nematodes associated with higher nitrogen levels. The maturity index was negatively correlated with the soil nitrate values. The PPI/IM ratio was affected by the highest dose of nitrogen. Our results highlight the potential of these parameters to be used as indicators of changes in response to disturbances in the soil system.

Key words: Apple, fertilization, maturity index, nematodes, trophic groups.

RESUMEN

Azpilicueta, C. V., M. C. Aruani, P. D. Reeb, y E. E. Sánchez. 2007. Estructura de la comunidad de nematodos del suelo bajo dos niveles de fertilización nitrogenada en Alto Valle del Río Negro-Argentina. *Nematologica* 38:75-86.

En este estudio se determinó el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la abundancia de nematodos de vida libre y fitófagos en el suelo. Se evaluaron los índices de la comunidad de nematodos y su relación con la disponibilidad de nitratos en un cultivo de manzanos en el Alto Valle de Río Negro, bajo un sistema de manejo conservacionista. Los tratamientos fueron 2 dosis de nitrógeno (N) aplicado como nitrato de amonio 75 kg ha⁻¹ (N75) y 150 kg ha⁻¹ (N150), 50% a caída de pétalos y 50% 30 días después, y un tratamiento sin fertilizar (N0). La fertilización nitrogenada ocasionó cambios en algunos grupos tróficos, familias y géneros de nematodos en las temporadas 2005-2006 y 2006-2007. En todas las condiciones evaluadas la estructura trófica estuvo dominada por nematodos fitófagos, predominando especímenes del género *Hemicycliophora*. La relación nematodos fungívoros-bacteriófagos (FB) fue significativamente menor en las parcelas tratadas, indicando mayor contribución de los nematodos bacteriófagos en los procesos de descomposición del suelo. El índice para nematodos fitófagos (PPI) no fue afectado por los tratamientos, mientras que el índice de madurez para

nematodos de vida libre (IM) respondió a N150 y N75 respecto a N0, estando asociado a una mayor frecuencia de nematodos oportunistas. El IM fue correlacionado negativamente con los valores de nitrato en suelo. La relación PPI/IM fue afectada con la mayor dosis de nitrógeno. Estos resultados resaltan el potencial de estos parámetros como indicadores de cambios en respuesta a un disturbio en el sistema suelo.

Palabras clave: Grupos tróficos, fertilización, índice de madurez, manzano, nematodos.

INTRODUCCION

Los nematodos constituyen uno de los componentes numéricamente más importantes de la fauna del suelo (Bongers y Bongers, 1998), se ubican en al menos cinco grupos funcionales (Yeates *et al.*, 1993) y ocupan posiciones en la red trófica del suelo como consumidores primarios, secundarios y/o terciarios (Wasilewska, 2004). Los nematodos fitófagos se alimentan de material vegetal, siendo estos organismos los más conocidos a causa del daño que ocasionan algunas especies a los cultivos. Los nematodos bacteriófagos y fungívoros consumen bacterias y hongos respectivamente y están involucrados indirectamente en la descomposición y mineralización del nitrógeno debido a su interacción con la microflora (Neher, 2001; Neher y Campbell, 1994). Los nematodos depredadores se alimentan de otros grupos funcionales de nematodos y de invertebrados, mientras que los nematodos omnívoros incorporan fuentes de alimentación variada que incluyen organismos de origen animal y vegetal (Yeates *et al.*, 1993). Además, la nematofauna del suelo contribuye hasta con un 19% del nitrógeno total disponible en el suelo, con su excreción (Neher, 2001).

Los nematodos poseen atributos que los hacen útiles como indicadores ecológicos (Wasilewska, 1997). La estructura trófica de la comunidad de nematodos puede proveer una medida integrada del estado de otros grupos de los cuales ellos se alimentan (Ritz y Trudgill, 1999). A su vez, el monitoreo de

la comunidad de nematodos permite el análisis de las condiciones ecológicas del suelo debido a que pueden reflejar cambios en las condiciones del mismo (Bongers, 1990). Los índices ecológicos son herramientas útiles que no solo proveen medidas cuantitativas para caracterizar un ecosistema sino también para comparar diferentes sistemas ecológicos (Porazinska *et al.*, 1999). El índice de madurez (IM) se basa en el principio de que distintos taxones presentan diferente sensibilidad al estrés (Bongers, 1990, 1999). Un valor bajo de IM indica un ambiente más perturbado y un valor alto lo contrario. El índice para nematodos fitoparásitos (PPI) puede aumentar cuando se produce un incremento en la producción primaria particularmente de raíces (Bongers, 1990). Bongers *et al.*, (1997) propusieron la relación PPI/IM como un buen parámetro para el monitoreo de agroecosistemas como indicador del estado nutricional del suelo.

Los agroecosistemas están generalmente caracterizados por disturbios periódicos tales como labranza, uso de pesticidas y fertilizantes que impiden la sucesión natural del sistema (Bongers y Bongers, 1998). En años recientes, se han llevado a cabo diversos estudios para comprender la dinámica y respuesta de la comunidad de nematodos a distintas prácticas de manejo (Forge *et al.*, 2003; Lenz y Eisenbeis, 1998; Neher, 1999; Porazinska *et al.*, 1999). Una de ellas, la incorporación de nitrógeno como abono inorgánico u orgánico afecta la estructura y diversidad de nematodos en el suelo (Bulluck *et al.*,

2002; Koenning y Barker, 2004; Rodríguez-Kábana, 1986; Sarathchandra *et al.*, 2000). El avance tecnológico ha potenciado la capacidad del hombre para alterar el suelo a través del manejo intensivo de los agroecosistemas. Afortunadamente, en los últimos tiempos se tiende a mantener niveles adecuados de producción sostenible, rentable y competitiva, a través de estrategias que minimicen el efecto de las perturbaciones (Fadda, 2006).

En el Alto Valle de Río Negro la producción frutícola es la principal actividad económica. En esta región se produce el 80% de la producción nacional de manzanas y peras y el 91% del volumen exportado por Argentina. Frente a esta realidad, se tiende a través de moderna tecnología de plantación, fertilización, riego y manejo de cultivo, lograr en su conjunto producir buenas cosechas en calidad y cantidad. El uso de fertilizantes nitrogenados inorgánicos es uno de los insumos más importantes en la producción frutícola dado que estos suelos son pobres en materia orgánica y nutrientes. En esta zona no se cuenta con antecedentes sobre el comportamiento de la nematofauna en respuesta a la aplicación de nitrógeno en el suelo.

Los objetivos del estudio fueron: a) analizar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la abundancia de los grupos tróficos y b) evaluar los índices de la comunidad de nematodos y su relación con la disponibilidad de nitratos en un cultivo de manzanos en el Alto Valle de Río Negro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio y diseño experimental

El estudio se llevó a cabo en el Alto Valle de Río Negro en Argentina, coordenadas 39°01'28"S y 67°44'15"W, en un huerto con manzanos (*Malus domestica* Borkh) cv. Royal Gala injertada sobre el pie

MI 793 de 12 años de edad. El monte fue conducido en espaldera en un marco de plantación de 4 metros entre filas y 2 metros entre plantas. En el mismo año de implantación del monte se sembró mijo (noviembre) que fue incorporado en febrero del año siguiente. Desde 1995 y hasta el 2007 incluido, se mantuvo en el interfilas una cobertura definitiva de festuca (*Festuca arundinacea*) la que se desbroza tres veces durante la primavera y el verano. Una vez al año se aplica herbicida Glifosato sobre una franja de 1.2 m. Desde la implantación y hasta el año 2003 el huerto de manzanos se fertilizó anualmente con una dosis de 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno bajo la forma de nitrato de amonio.

El material originario de este suelo es aluvial, la textura es franca y pertenece al orden Aridisol, clasificado como Haplocambides típicos franco fino, mixto, térmico (Soil Survey Staff, 1998) y está ubicado en la Terraza Aluvial Subreciente. El clima según la clasificación de Thornthwaite se define como templado y árido. El régimen de humedad corresponde al árido y el de temperatura es térmico, todo ello refleja condiciones de déficit hídrico durante todo el año siendo máximo durante el verano (C.I.L., 1991). En el 2004 se seleccionaron al azar 9 unidades experimentales, cada una constituida por una fila. Se asignaron tres repeticiones a los siguientes tratamientos: dos dosis de nitrógeno (N) 75 kg ha⁻¹ (N75) y 150 kg ha⁻¹ (N150) aplicados como nitrato de amonio y distribuidos en 2 momentos del ciclo fenológico: 50% a caída de pétalo (5 de octubre) y 50% en cuaje (4 de noviembre) y un tratamiento sin fertilizar (N0). El fertilizante se aplicó, sobre la zona de influencia del herbicida (sobre el borde), cubriendo una superficie de 2.4 m² por planta. La fertilización se realizó en toda la fila, evitando de esta manera el arrastre del fertilizante hacia plantas que no fueron fertilizadas.

Muestreo, extracción de nitratos e identificación de nematodos

Para la determinación de la nematofauna se realizaron muestreos de suelo con un barreno de 5 cm² de área y de 30 cm de profundidad, en la rizósfera de los manzanos. Durante la segunda y tercera temporada de aplicación del fertilizante (períodos 2005-2006 y 2006-2007) se extrajeron muestras de suelo antes de fertilizar, entre 25 a 30 días después de cada fertilización y 160 días después de la última fertilización. En cada fila se seleccionaron 6 plantas de las cuales se extrajo una submuestra de suelo de cada planta, constituyendo una muestra compuesta. Cada muestra fue conservada a 4°C. Todas las muestras fueron procesadas en un período de cinco días. Para la extracción de los nematodos se separó una alícuota de 100 cm³ de cada muestra homogeneizada manualmente y se la procesó mediante la técnica de centrifugación-flotación (Caviness y Jensen, 1955). Los nematodos extraídos fueron identificados a nivel de familia (en algunos casos género) y asignados a uno de los cuatro grupos tróficos 1) bacteriófagos (B), 2) fungívoros (Fu), 3) fitófagos (Fi) y 4) omnívoros-predadores (O-P) de acuerdo a Yeates *et al.* (1993). Se determinó la concentración de nitratos (NO₃⁻) de la misma muestra donde se realizó la extracción de los nematodos del suelo, con un equipo de medición rápida (Merck reflectoquant), que expresa el resultado directamente en mg kg⁻¹. Este valor se corrigió por la humedad del suelo al momento de la extracción.

Parámetros e Índices de comunidad

La comunidad de nematodos fue descrita en cada muestra de suelo a partir de diversos parámetros e índices. Se determinó la abundancia total de nematodos (100 cm³ de suelo) y la abundancia de cada grupo trófico. Se calculó la relación nema-

todos fungívoros-bacteriófagos (FB = F/(F+B)). Esta relación indica la ruta de descomposición de la materia orgánica del suelo. El índice de madurez (IM) fue calculado como $IM = \sum v_i * f_i$ donde f_i es la frecuencia de la familia i en la muestra y v_i es el valor c-p asignada a la familia i (Bongers, 1990; Bongers y Bongers, 1998). Los valores c-p describen las estrategias de vida de los nematodos y el rango se extiende desde 1 (para colonizadores, tolerantes a disturbios) a 5 (para persistentes, sensibles a disturbios). El índice de madurez para nematodos de vida libre sin considerar a los nematodos oportunistas (IM25), incluye solamente c-p = 2-5 (Neher y Campbell, 1994). Este índice registra cambios a largo plazo ya que los taxones con c-p = 2-5 son más estables temporalmente y pueden proveer información a largo plazo de las condiciones ambientales. El índice PPI basado solo en nematodos fitoparásitos (Bongers, 1990) y la relación PPI/IM (índice de fitoparásitos sobre el índice de madurez) fue analizada como indicador del estado nutricional del suelo (Bongers *et al.*, 1997).

Análisis estadístico

Los nematodos omnívoros y depredadores, debido a su baja densidad poblacional, fueron agrupados para realizar el análisis estadístico. Se analizaron los datos de abundancia total, abundancia de cada grupo trófico, abundancia de familias y géneros de nematodos en las dos temporadas. Para ello se ajustaron modelos lineales generalizados (MLG) (McCullagh y Nelder, 1989) según el trinomio: componente aleatorio Binomial Negativa, enlace canónico y componente sistemático constituido por las covariables ciclo, mes y tratamiento (SAS, 2000). Utilizando la transformación exponencial se expresan los resultados en términos de cociente de posibilidades (OR). Para la comparación de los índices biológicos entre los

tratamientos en las dos temporadas se ajustaron modelos de análisis de varianza (ANOVA) y se utilizaron pruebas a posteriori de Tukey. Un análisis de correlación se utilizó para cuantificar la asociación entre el contenido de nitratos en el suelo, los índices ecológicos y la abundancia de cada grupo trófico durante las dos temporadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la abundancia de nematodos

Durante los dos ciclos productivos se identificaron 16 familias, 1 subfamilia y 10 géneros de nematodos asociados a la rizósfera de manzano (Cuadro 1). Los nematodos fitófagos encontrados, fueron oportunamente citados en la zona por Bergna (1976) quien registró a *Pratylenchus* y *Paratylenchus* como los nematodos de mayor frecuencia.

La fertilización nitrogenada ocasionó cambios en algunos grupos tróficos, familias y géneros de nematodos en las temporadas 2005-2006 y 2006-2007 (Cuadro 2).

La abundancia total de nematodos fluctuó entre 175 y 669 individuos en 100 cm³ de suelo, detectándose menor abundancia total en octubre del segundo año en N150 respecto a N0 ($p = 0.001$) y mayor en diciembre del tercer año ($p = 0.0247$) en N150. En los meses de primavera (octubre, noviembre y diciembre) la abundancia total fue mayor ($p < 0.0001$) respecto a abril de la segunda temporada, en cambio, en el tercer ciclo la mayor abundancia se detectó en noviembre. Otros investigadores no detectaron cambios en este parámetro debido a la aplicación de nitrógeno (Mondino, 2001; Sarathachandra *et al.*, 1999). Por otro lado, Wasilewska (2004) encontró que este parámetro no fue sensible para diferenciar comunidades de nematodos entre distintos habitats.

Los nematodos fitófagos fueron el grupo trófico más abundante y responsable del comportamiento de la curva de la abundancia media total de nematodos en la mayoría de las fechas muestreadas. Representaron el 58 a 92% de la estructura de la comunidad de nematodos, siguiendo en número los nematodos bacteriófagos, fungívoros y omnívoros-depredadores. A menudo, los nematodos fitoparásitos constituyen un alto porcentaje de la comunidad de nematodos del suelo en los agroecosistemas (Ferris y Ferris, 1974).

Los nematodos bacteriófagos y fungívoros respondieron en forma diferente a la aplicación de nitrógeno. Los primeros dominaron sobre los fungívoros en todas las ocasiones de muestreo. El número de nematodos bacteriófagos fue mayor con la dosis N150 respecto al tratamiento sin fertilizar (N0) en todas las fechas muestreadas, indicando que estos organismos tienen como mínimo 1.5 y como máximo 2.6 veces más posibilidad de estar presente con la mayor dosis ($OR = 0.3900 \pm 0.1881$ $p = 0.0366$ y $OR = 0.9396 \pm 0.1791$ $p < 0.0001$) (Fig. 1). Asimismo, este grupo trófico se registró en mayor densidad en N150 respecto a N75 en noviembre ($OR = 0.4797 \pm 0.1757$ $p = 0.0063$) y en abril ($OR = 0.4136 \pm 0.1880$ $p = 0.0278$), señalando que estos organismos tienen aproximadamente 1.6 y 1.5 veces más posibilidad de estar presentes con la mayor dosis en estos meses, respectivamente. En estos períodos se activa el crecimiento de las raíces en los frutales, que va desde fines de invierno, antes de brotación, hasta mediado de primavera y a fines del verano y otoño (Sánchez, 1999). Por otra parte, después de cada aplicación de nitrógeno en el tratamiento N75, la población de bacteriófagos se mantuvo significativamente más alta respecto al tratamiento sin fertilizar, no detectándose efecto en octubre y en abril (Fig. 1). Estos nematodos junto con los protozoos son los principales

Cuadro 1. Frecuencia de ocurrencia relativa* (%) de los distintos taxones encontrados en las muestras de suelo de cada tratamiento durante los dos ciclos productivos.

Grupo Trófico	Taxón (valor c-p)	Tratamientos		
		N0	N75	N150
Bacteriófagos	Cephalobidae (2)	100	100	100
	Diplogasteridae (1)	4	—	4
	Diploscapteridae (1)	—	—	4
	Monhysteridae (2)	8	17	21
	Panagrolaimidae (1)	42	54	42
	Plectidae (2)	54	46	58
	Prismatolaimidae (3)	42	21	8
	Rhabditidae (1)	100	100	100
Fungívoros	<i>Aphelenchus</i> (2)	50	63	63
	<i>Aphelenchoides</i> (2)	21	42	46
	Diphtherophoridae (3)	58	29	38
	Tylencholaimellidae (4)	83	46	42
Omnívoros-depredadores	Dorylaimidae (4)	63	50	71
	Aporcelaimidae (5)	21	21	8
	<i>Mylonchulus</i> (4)	79	67	67
	<i>Prionchulus</i> (4)	21	13	25
	<i>Iotonchus</i> (4)	4	4	4
	Seimuridae (2)	—	4	25
Fitófagos	Criconematidae (3)	29	13	4
	<i>Helicotylenchus</i> (3)	8	8	17
	<i>Hemicycliophora</i> (3)	100	100	100
	<i>Meloidogyne</i> (3)	—	—	4
	<i>Pratylenchus</i> (3)	100	100	100
	Trichodoridae (4)	—	—	4
	Tylenchidae (2)	92	92	100
	Paratylenchinae (2)	54	33	25
<i>Tylenchorhynchus</i> (2)	—	8	4	

*El análisis de frecuencia se basó en 24 observaciones de cada tratamiento durante las dos temporadas. Frecuencia de ocurrencia relativa (%) = (número de muestras con presencia del taxón/número total de muestras por tratamiento) × 100.

consumidores de bacterias del suelo y las interacciones entre los primeros y las bacterias tienen consecuencias importantes sobre el funcionamiento del suelo y particularmente sobre la disponibilidad de

nutrientes (Blanc *et al.*, 2006). Ferris *et al.* (1997) encontraron que distintas especies de nematodos bacteriófagos contribuyen a la mineralización de nitrógeno en distintos meses, asegurando el reciclado continuo de

Cuadro 2. Efecto de ciclo (C), mes (M) y fertilización (F) y sus interacciones (C × M; M × F; C × F; C × M × F) sobre la abundancia total de nematodos, grupos tróficos, familias y géneros de nematodos.

	C	M	F	C × M	M × F	C × F	C × M × F
Abundancia total	**	**		**		*	*
Grupos Tróficos							
Bacteriófagos	**	**	**	**	*		
Fungívoros		**	**				
Omnívoros-depredadores	**	**		*			
Fitófagos		**		**		*	
Familias o géneros							
Rhabditidae	**	**	**	**		*	
Cephalobidae		**	**	**		*	
Hemicycliophora		**	**	**	*	*	
Pratylenchus	**	**					

*, ** Nivel de significancia de $p < 0.05$ y $p < 0.01$, respectivamente.

nutrientes. Un aumento en la abundancia de este grupo, es indicativo de una actividad microbiana alta, especialmente cuando se aplica nitrógeno en el ambiente (Wasiłewska, 1997). En este estudio, la población de nematodos bacteriófagos estuvo dominada por Rhabditidae y Cephalobidae. La abundancia de Rhabditidae fue mayor en N150 ($p = 0.0003$) respecto a las parcelas sin tratamiento (N0) en ambos ciclos y también se incrementó en N75 ($p = 0.0012$) respecto a N0 en la segunda temporada.

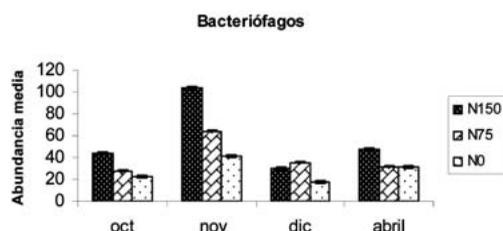


Fig. 1. Abundancia media de nematodos bacteriófagos en los tratamientos N150, N75 y N0 en los distintos meses durante los dos ciclos productivos. Abundancia media: número promedio de individuos en 100 cm^3 de suelo. Meses muestreados: oct = octubre, nov = noviembre, dic = diciembre y abril.

Después de la primera aplicación de nitrógeno, en la segunda temporada, Rhabditidae mostró un típico comportamiento de r-estratega, con un aumento rápido y temporal de la población bajo condiciones de enriquecimiento nutricional (Bongers y Bongers, 1998) (Fig. 2), siendo este patrón observado en *Citrus* en Florida (Porazinska *et al.*, 1999). Ferris y Matute (2003) especificaron que para proveer un suelo saludable con una adecuada fertilidad se necesita mantener altos niveles de nematodos oportunistas. Cephalobidae tuvo un comportamiento más uniforme durante la segunda temporada y respondió significativamente a las dosis de nitrógeno en el tercer ciclo, contribuyendo al comportamiento de la curva de los nematodos bacteriófagos en los tratamientos fertilizados (Fig. 2). Estos nematodos se encuentran tanto en condiciones de ambiente pobres como ricos en nutrientes (Bongers y Bongers, 1998)

La abundancia de nematodos fungívoros fue significativamente menor en las parcelas fertilizadas (OR = -0.5992 ± 0.1776 $p = 0.0007$; OR = -0.4435 ± 0.1771 $p =$

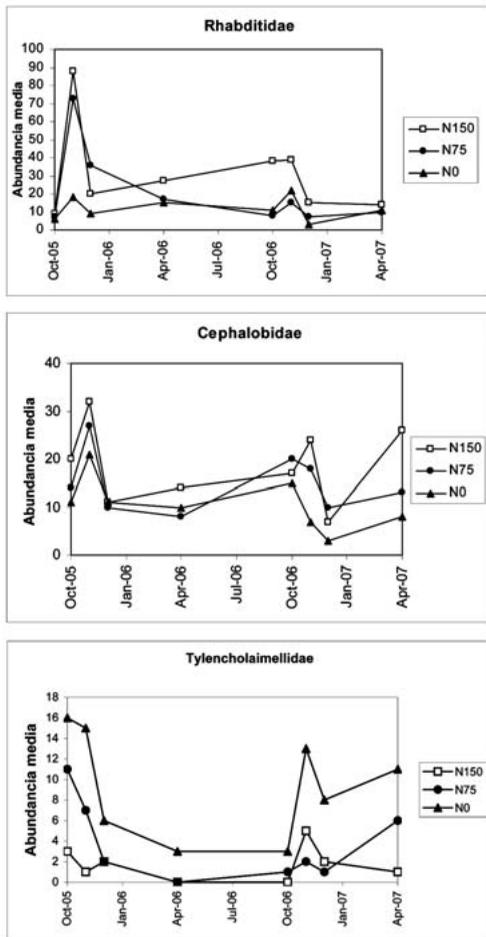


Fig. 2. Fluctuación poblacional de Rhabditidae, Cephalobidae y Tylencholaimellidae en un suelo con manzanos cv. Royal Gala durante la segunda y tercera temporada del ensayo. Abundancia media: número de individuos en 100 cm³ de suelo.

0.0123), indicando que estos organismos tienen aproximadamente 1.8 y 1.5 veces más posibilidad de estar presentes en menor cantidad con la dosis N150 y N75, respectivamente. En general, estos nematodos contribuyen en las últimas etapas de la descomposición, aumentando en suelos con enmiendas orgánicas con alta relación C:N (Ferris y Matute, 2003). Tylencholaimellidae presentó una tendencia a dismi-

nuir con la mayor dosis de nitrógeno, pero no se pudo hacer inferencias estadísticas con este nivel de muestreo (Fig. 2).

Los nematodos fitófagos, como grupo trófico, respondieron a la fertilización nitrogenada en la segunda temporada. Este grupo disminuyó con las dosis de nitrógeno respecto al tratamiento sin fertilizar (N0), lo que significa que estos organismos tienen aproximadamente 1.4 y 1.3 veces más posibilidad de estar presentes en menor cantidad con la dosis N150 y N75, respectivamente ($OR = -0.3487 \pm 0.1061$ $p = 0.0010$; $OR = -0.2655 \pm 0.1060$ $p = 0.0123$). En los meses de primavera, la abundancia de nematodos fitófagos fue mayor ($p < 0.0001$) respecto a abril en ambos ciclos productivos (Cuadro 2). El género dominante fue *Hemicyclophora* y responsable del comportamiento de la abundancia del grupo trófico en la mayoría de las fechas analizadas, detectándose una abundancia significativamente menor en los tratamientos con nitrógeno durante la segunda temporada. *Pratylenchus* no respondió a la fertilización nitrogenada, contrariamente a lo detectado por Sarathachandra *et al.* (2001) quienes observaron un aumento de este fitófago en suelos con pasturas fertilizados con nitrógeno. En noviembre se observó una densidad poblacional de este fitoparásito significativamente mayor ($p < 0.0001$) en la rizósfera de los manzanos, coincidiendo con uno de los períodos de mayor crecimiento de la raíz.

El grupo trófico de nematodos omnívoros-depredadores no respondió a las dosis de nitrógeno. La baja densidad relativa de los taxones que componen este grupo, puede limitar la detección de la respuesta inducida por el cambio ambiental en el suelo como lo han expresado otros investigadores (Neher *et al.*, 1995). Dorylaimidae y *Mylonchulus* fueron los de mayor frecuencia durante las dos temporadas, detectándose además *Prionchulus* en el tercer ciclo.

Seinuridae se detectó esporádicamente en las parcelas fertilizadas.

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre las relaciones e índices de la comunidad de nematodos

Los valores de la relación FB respondieron al fertilizante sintético. Estos fueron de 0.15 ± 0.10 , 0.23 ± 0.19 y 0.35 ± 0.18 (promedio \pm desvío estándar) para las dosis N150, N75 y N0, respectivamente, detectándose diferencias significativas entre N150 ($p = 0.0002$) y N75 ($p < 0.028$) respecto al tratamiento sin fertilizar, durante las dos temporadas. El valor promedio de FB se comportó similar en las mismas fechas en ambos ciclos. Los valores de FB estuvieron próximos al valor estimado para cultivos perennes (0.21) por Neher y Campbell (1994). Esta relación describe la contribución de los nematodos bacteriófagos y fungívoros en los procesos de descomposición del suelo, mostrando en este estudio que la descomposición de la materia orgánica fue asistida preferentemente por bacterias en las parcelas fertilizadas. Estos valores bajos indican una contribución predominante de los bacteriófagos a la descomposición. Las cadenas tróficas en los suelos agrícolas cultivados están basadas

típicamente en bacterias más que en los hongos (Hendrix *et al.*, 1986).

En el Cuadro 3 se resumen los valores promedios de los índices ecológicos (IM, PPI, IM25 y PPI/IM) entre los tratamientos. El índice de madurez, IM, permitió detectar cambios en el ambiente suelo debido a la fertilización, observándose diferencias significativas entre los valores promedios de IM de los tratamientos. El comportamiento de la curva de IM fue similar en los dos ciclos productivos. La disminución significativa del IM, sugiere un leve disturbio en la estructura de la comunidad de nematodos (Bongers *et al.*, 1997). Los valores mas bajos observados en este estudio estarían asociados a una mayor frecuencia de nematodos oportunistas (r-estrategas) y en ocasiones a la disminución de nematodos especialistas (estrategas-k). Esta observación coincide con lo obtenido en otras publicaciones (Bongers, 1990; Porazinska *et al.*, 1999). Los valores mas bajos de IM25 corresponden a las parcelas con fertilización nitrogenada, detectándose diferencias respecto al tratamiento sin fertilizar ($p = 0.00006$). Aunque los valores medios de IM entre las parcelas fertilizadas fueron estadísticamente significativos y no así los valores medios de IM25, indicarían igualmente que ambos sistemas

Cuadro 3. Índices de la comunidad de nematodos del suelo en un monte de manzanos durante las temporadas 2005-2006 y 2006-2007.

Índices	Tratamientos [*]		
	N150	N75	N0
IM (c-p =1-5)	1.97 ± 0.36 a	2.23 ± 0.45 b	2.52 ± 0.40 c
IM25 (c-p = 2-5)	2.55 ± 0.30 a	2.75 ± 0.42 a	3.02 ± 0.35 b
PPI	2.89 ± 0.08	2.89 ± 0.10	2.88 ± 0.07
PPI/IM	1.52 ± 0.34 a	1.36 ± 0.37 ab	1.17 ± 0.19 b

^{*}Promedio \pm desvío estándar.

Letras distintas indican diferencias ($p < 0.05$) entre los valores medios de una misma fila de acuerdo a la prueba de Tukey.

están perturbados respecto al tratamiento sin fertilizar.

En este estudio, el índice de fitoparásitos, PPI, no fue afectado por la fertilización nitrogenada. En sistemas de manejo convencional y en cultivos perennes Neher y Campbell, 1994; Neher, 1999 encontraron valores similares. En contraste con otro estudio, el índice aumentó probablemente como resultado de una mayor capacidad de carga de las plantas sobre la que se alimentan los nematodos fitófagos (Bongers *et al.*, 1997).

La relación PPI/IM detectó diferencias entre los tratamientos N150 y sin aplicación de nitrógeno (N0), no observándose con N75, estos cambios se debieron principalmente a una disminución de IM, como lo indica la fuerte correlación entre IM y PPI/IM (Cuadro 4). Bajo ciertas condiciones, los índices IM y PPI responden de manera opuesta frente a un aumento del estado nutricional del suelo, el índice IM disminuye como resultado de un incremento en la proporción de nematodos

oportunistas por enriquecimiento y PPI aumenta con un mayor desarrollo radical (Bongers *et al.*, 1997). Sarathachandra *et al.* (2001) detectaron un valor menor de IM (1.53) con dosis de 400 kg Nha⁻¹ en suelos con pasturas perennes y con una relación de PPI/IM de 1.39. De acuerdo a Bongers *et al.* (1997) la relación PPI/IM no excede el valor 0.9 en hábitat naturales donde las plantas superiores utilizan los nutrientes en forma óptima y puede aumentar hasta 1.2 a causa de disturbios leves debido a nutrientes. En las parcelas fertilizadas de este estudio los valores mayores de 1.2 pueden ser interpretados como un exceso de nutrientes en el suelo y una alta actividad microbiológica. (Bongers *et al.*, 1997). IM se correlacionó negativamente con el número de nematodos bacteriófagos y el contenido de nitrato en suelo y positivamente con la abundancia de nematodos fungívoros y omnívoros-depredadores (Cuadro 4). También se obtuvo correlación positiva entre la abundancia de nematodos bacteriófagos y el contenido de

Cuadro 4. Coeficiente de correlación entre grupos tróficos de nematodos, índices ecológicos y contenido de nitrato en suelo.

	B	Fu	Fi	O-P	IM	PPI	PPI/IM	IM25	NO ₃ ⁻
B	1								
Fu	ns	1							
Fi	ns	0.458**	1						
O-P	ns	ns	ns	1					
IM	-0.635**	0.265*	ns	0.261*	1				
PPI	ns	ns	0.331**	-0.264*	ns	1			
PPI/IM	0.680**	ns	ns	-0.331**	-0.937**	0.272*	1		
IM25	-0.380**	0.263*	ns	0.310**	0.793**	ns	-0.717**	1	
NO ₃ ⁻	0.294*	ns	ns	ns	-0.319**	ns	0.271*	-0.245*	1

*,**Coeficientes de correlación a un nivel de significancia de $p < 0.05$ y $p < 0.01$, respectivamente. ns = no significativo ($p > 0.05$) ($n = 72$). B = bacteriófagos; Fu = fungívoros; Fi = fitófagos; O-P = omnívoros-depredadores; IM = índice de madurez para nematodos de vida libre; PPI = índice de madurez para fitoparásitos; PPI/IM = relación entre los dos índices; IM25= índice de madurez incluye solamente c-p = 2-5; NO₃⁻ = contenido de nitrato en suelo.

nitrate en suelo confirmando que la mayor dosis de nitrógeno afectó la estructura de la comunidad de nematodos durante este período de tiempo. Esta correlación fue citada por Neher (1999).

De acuerdo con los resultados, la abundancia de algunos grupos tróficos de la comunidad de nematodos fue afectada por la fertilización nitrogenada en un suelo con manzanos. Según Fiscus y Neher (2002) la fertilización es considerada como un disturbio químico que puede alterar la comunidad de nematodos en forma cualitativa en un agroecosistema. Bajo las condiciones del ensayo, el grupo omnívoros-depredadores no reflejó el efecto de la fertilización nitrogenada, probablemente se requiera mayor tiempo de monitoreo para detectar cambios debido a su baja población. Contrariamente, los bacteriófagos aumentaron con la mayor dosis de nitrógeno durante el estudio, siendo uno de los grupos más importantes en la regulación de la descomposición de la materia orgánica. La población de nematodos fitófagos fue significativamente mayor que el resto de los grupos tróficos encontrados, lo que podría estar asociado al uso continuo de fertilizantes nitrogenados desde la implantación del monte frutal (Wasilewska, 1997), ya que algunas prácticas de manejo pueden ocasionar impactos perdurables sobre la estructura de la comunidad y el reciclado de nutrientes (Wang *et al.*, 2004). Por otro parte, se concluye que el índice de madurez y la relación PPI/IM fueron sensibles a la fertilización nitrogenada en las fechas analizadas. Estos resultados resaltan el potencial que tienen estos parámetros como indicadores de cambios en respuesta a un disturbio en el sistema suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto de Investigación PI 04/A082 "Dinámica de los nitratos en sistemas pro-

ductivos del Alto Valle de Río Negro" financiado por la Secretaría Agrepar de Investigación de la Universidad Nacional del Comahue y la cooperación de la Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle de Río Negro (INTA)-Argentina

LITERATURA CITADA

- Bergna, D. A. 1976. Reconocimiento de nematodos perirradiculares en manzano y perales. *Investigación Agropecuaria* 4:18-25.
- Blanc, C., M. Sy, D. Djigal, A. Brauman, P. Normand, y C. Villenave. 2006. Nutrition on bacteria by bacterial-feeding nematodes and consequences on the structure of soil bacterial community. *European Journal of Soil Biology* 42:70-78.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:14-19.
- Bongers, T. 1999. The maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. *Plant and Soil* 212:13-22.
- Bongers, T., y M. Bongers. 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10:239-251.
- Bongers, T., H. van der Meulen, y G. Korthals. 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology* 6:195-199.
- Bulluck, L. R., K. R. Barker, y J. B. Ristaino. 2002. Influences of organic and synthetic soil fertility amendments on nematode trophic groups and community dynamics under tomatoes. *Applied Soil Ecology* 21:233-250.
- Caviness, F. E., y H. J. Jensen. 1955. Modification of the centrifugal-flotation technique for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* 22:87-89.
- C.I.L. (Consortio Inconas Latinoconsult S.A.) 1991. Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro, Argentina. Etapa II. Informe Edafológico, Buenos Aires, Argentina.
- Fadda, G. S. 2006. Simposio: La Conservación del Suelo: La necesidad de un enfoque global. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta, Argentina.
- Ferris, V. R., y J. M. Ferris. 1974. Inter-relationships between nematode and plant communities in agricultural ecosystems. *AgroEcosystems* 1: 275-299.
- Ferris, H. R., y M. M. Matute. 2003. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. *Applied Soil Ecology* 23:93-110.

- Ferris, H., R. C. Venette, y S. S. Lau. 1997. Population energetics of bacterial-feeding nematodes: Carbon and nitrogen budgets. *Soil Biology and Biochemistry* 29:1183-1194.
- Fiscus, D. A., y D. A. Neher. 2002. Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. *Ecological Applications* 12:565-575.
- Forge, T. A., E. Hogue, G. Neilsen, y D. Neilsen. 2003. Effects of organic mulches on soil microfauna in the root zone of apple: implications for nutrient fluxes and functional diversity of the soil food web. *Applied Soil Ecology* 22:39-54.
- Hendrix, P. F., R. W. Parmelee, J. Crossley, D. A. Coleman, E. P. Odum, y P. M. Groffman. 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agro ecosystems. *BioScience* 36:374-380.
- Koenning, S. R., y K. R. Barker. 2004. Influence of poultry litter applications on nematode communities in cotton agro ecosystems. *Journal of Nematology* 36(4):524-533.
- Lenz, R., y G. Eisenbeis. 1998. The vertical distribution of decomposition and of litter-colonizing nematodes in soils under different tillage. *Pedobiologia* 42:193-204.
- McCullagh, P., y J. A. Nelder. 1989. *Generalized linear models*. 2nd ed. Chapman and Hall, London.
- Mondino E. A. 2001. Efecto de las rotaciones, las labranzas y la fertilización nitrogenada sobre la nematofauna del suelo. Tesis (Maestría en Producción Vegetal), Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Buenos Aires, AR. 2001. pp. 71.
- Neher, D. A. 1999. Nematode communities in organically and conventionally managed agricultural soils. *Journal of Nematology* 31(2):142-154.
- Neher, D. A. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33(4):161-168.
- Neher, D. A., y C. L. Campbell. 1994. Nematode communities and microbial biomass in soils with annual and perennial crops. *Applied Soil Ecology* 1:17-28.
- Neher, D. A., S. L. Peck, J. O. Rawlings, y C. L. Campbell. 1995. Measures of nematode community structure for an agro ecosystem monitoring program and sources of variability among and within agricultural fields. *Plant and Soil* 170:167-181.
- Porazinska, D. L., L. W. Duncan, R. McSorley, y J. H. Graham. 1999. Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Applied Soil Ecology* 13:69-86.
- Rodríguez-Kábana, R. 1986. Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology* 18(2):129-135.
- Ritz, K., y D. L. Trudgill. 1999. Utility of nematode community analysis as an integrated measure of the functional state of soils: perspectives and challenges. *Plant and Soil* 212:1-11.
- Sánchez, E. E. 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación experimental Alto Valle de Río Negro, Río Negro, Argentina.
- Sarathchandra, S. U., A. Ghani, G. W. Yeates, G. Burch, y N. R. Cox. 2001. Effect of nitrogen and phosphate fertilisers on microbial and nematode diversity in pasture soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33:953-964.
- SAS Institute, Inc. 2000. SAS On line DOC, Version 8. CD. Cary, NC, USA.
- Soil Survey Staff, 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8th ed. USDA. Natural Resources Conservation Service. Washington, DC, USA. 326 pp.
- Yeates, G. W., T. Bongers, R. G. M. De Goede, D. W. Freckman, y S. S. Georgieva. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera—An outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25:315-331.
- Wang K-H., R. McSorley, y R. N. Gallaher. 2004. Relationship of soil management history and nutrient status to nematode community structure. *Nematropica* 34(1):83-95.
- Wasilewska, L. 1997. Soil invertebrates as bioindicators, with special reference to soil-inhabiting nematodes. *Russian Journal of Nematology* 5(2):113-126.
- Wasilewska, L. 2004. Nematofauna of the shelterbelts in the agricultural landscape. *Polish Journal of Ecology* 52(2):99-113.

Received:

11/XXX/2007

Accepted for publication:

5/XVI/2008

Recibido:

Aceptado para publicación: