



EFFECTO DE LOS FACTORES DE MANEJO AGRÍCOLA DEL CULTIVO DE SOJA SOBRE LAS MALEZAS Y SU IMPORTANCIA SOBRE LOS GRUPOS FUNCIONALES DE NEMATODOS EDÁFICOS EN LA PAMPA ONDULADA

Susana A. Suárez^{1*}; E.B. de la Fuente²; A. Lenardis²; A. Gil²; M.E. Doucet³ y C.M. Ghersa²

¹Departamento de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto

²Departamento de Producción Vegetal y de Recursos Naturales y Ambiente-IFEVA
Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Avda. San Martín 4453, CABA

³Centro de Zoología Aplicada, Universidad Nacional de Córdoba

*suarez@exa.unrc.edu.ar

Recibido: 06-05-15

Aceptado: 31-07-15

RESUMEN

Los factores de manejo del cultivo de soja y los cambios resultantes en la composición florística y funcional (metabolitos secundarios) de las malezas modulan la composición y riqueza de los grupos funcionales de nematodos del suelo. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de los factores del manejo agrícola del cultivo de soja en (secuencia de cultivos y uso herbicida) y de la composición florística y funcional de las malezas resultante, sobre la riqueza de grupos funcionales de nematodos edáficos en la Pampa Ondulada. Para generar los tratamientos de manejo se utilizaron combinaciones de los cultivos soja y trigo y la aplicación de glifosato en un diseño experimental factorial completamente aleatorizado con tres repeticiones. Al cabo de 3 años se sembró en todas las parcelas trigo/soja y se aplicó glifosato, y al año siguiente soja y glifosato. Los nematodos y las malezas se relevaron durante la floración de soja en dos años sucesivos. La composición de nematodos fue principalmente explicada por la aplicación herbicida y la presencia de malezas como *Digitaria sanguinalis*, *Tagetes minuta* y *Chenopodium album*. Los incrementos en los nematodos fitófagos estuvieron relacionados con la ausencia de *T. minuta* y especies productoras de metabolitos secundarios como poliacetilenos y terpenos.

Palabras clave. Fitófagos, grupos tróficos, metabolitos secundarios, poliacetilenos, terpenos.

EFFECT OF AGRICULTURAL MANAGEMENT AND WEEDS ON FEEDING GROUPS OF NEMATODE IN SOYBEAN

SUMMARY

Agricultural history related to management of soybean and changes in floristic and functional composition (secondary metabolites) of accompanying weeds can determine composition and richness of functional (feeding groups) of soil nematodes. The aim of this work was to study the effect of agricultural management factors (crops and herbicide application in the rotation) and of the resulting weed floristic and functional composition, on the richness of functional groups of soil nematodes in the Rolling Pampa. To generate different management treatments combinations of wheat and soybean crops and glyphosate application were used in a factorial completely randomized experimental design with three replications. After three years of rotations wheat/soybean was sown and glyphosate was applied in all plots followed by soybean and glyphosate in the next year. Nematodes and weeds were surveyed during soybean flowering in two successive years. The composition of nematodes was mainly explained by the use of herbicides and the presence of weeds as *Digitaria sanguinalis*, *Tagetes minuta* and *Chenopodium album*. Increases in phytophagous nematodes were related to the absence of *T. minuta* and secondary metabolites producing species as polyacetylenes and terpenes.

Key words. Phytophagus, feeding groups, secondary metabolites, polyacetylenes, terpenes.

INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola produce cambios temporales y espaciales en los componentes bióticos del agroecosistema (Villénave *et al.*, 2001; de la Fuente *et al.*, 2003; Sánchez-Moreno y Ferris, 2007; Campos-Herrera *et al.*, 2010). Estos cambios pueden afectar positiva o negativamente a las malezas y a los organismos del suelo que acompañan al cultivo (Yeates, 1999; Yeates y Bonges, 1999; Suárez *et al.*, 2001; Darby *et al.*, 2007). Por ejemplo, la rotación con distintos cultivos produce heterogeneidad temporal y espacial que modifica la disponibilidad de hábitat, mientras que el uso de herbicidas al eliminar a las malezas cambia la disponibilidad de recursos (Mondino, 2001; Radosevich *et al.*, 2007).

El cultivo de soja [*Glycine max* (L.) Merr] en la Pampa Ondulada, está asociado con diferentes comunidades de malezas dependiendo del manejo del cultivo (Suárez *et al.*, 2001; de la Fuente *et al.*, 2006). La soja y las malezas acompañantes pueden afectar a los nematodos del suelo en diferentes formas, y a su vez pueden responder de diferentes maneras (susceptibles, tolerantes o resistentes) a la acción de los nematodos fitófagos (Howard *et al.*, 1998; Doucety y Lax, 1999; Wrather *et al.*, 2001).

Las plantas producen metabolitos secundarios que cumplen un importante rol en la mayoría de las interacciones de la red trófica de los organismos del suelo (Yeates, 1999; Stephen *et al.*, 2005). Por otra parte, los nematodos cumplen distintos roles en el agroecosistema. Los fungívoros, bacterívoros, omnívoros y depredadores tienen un rol central en la descomposición y reciclado de nutrientes (Yeates y Bongers, 1999; Sánchez-Moreno y Ferris, 2007), mientras que, los fitófagos reducen en numerosos casos el rendimiento de soja (Howard *et al.*, 1998; Wrather *et al.*, 2001). Es por ello que, la diversidad funcional de nematodos se utiliza como indicador de la salud y de las condiciones que tiene el suelo para brindar servicios (Sánchez-Moreno y Ferris, 2007).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del manejo agrícola (cultivos y el uso de

herbicidas en la secuencia) y de la composición florística y funcional de las malezas resultante sobre la riqueza de grupos funcionales de nematodos edáficos, en parcelas experimentales con cultivo de soja en la Pampa Ondulada.

La hipótesis propuesta es que la historia agrícola dada por el manejo y los cambios en la composición florística y funcional (metabolitos secundarios) de las malezas interactuando con los cultivos sembrados, modulan la riqueza de los grupos funcionales de nematodos edáficos y la jerarquía relativa de los grupos funcionales. Se prevé que la riqueza de grupos funcionales aumente con la riqueza de especies vegetales en la rotación (malezas y cultivos) y que los nematodos fitófagos sean promovidos por la presencia del cultivo de soja y reducidos por las especies de maleza con alta producción de metabolitos secundarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio y del experimento

En la localidad de Rojas, provincia de Buenos Aires, Argentina (34°08'S, 60°59'W), se realizó un experimento a campo sobre un suelo Argiudol con 3,2% de materia orgánica. Para generar diferentes historias de manejo se implementó durante 3 años distintas combinaciones de cultivos y herbicidas que en el cuarto año se unificaron, en un diseño experimental factorial completamente aleatorizado con tres repeticiones. El lote se manejó con siembra directa, implementando las actividades de manejo propias de cada cultivo incluido dentro de la rotación. Los factores considerados fueron "cultivo" (2 niveles: con y sin cultivo) y "herbicida" (2 niveles: con y sin herbicida), resultando las 4 combinaciones siguientes: sin cultivo sin herbicida (WW); con cultivo sin herbicida (CW); sin cultivo con herbicida (WH) y con cultivo con herbicida (CH). Las 12 parcelas experimentales ocuparon un área total de 20 m ancho por 50 m largo con 17,5 cm de espaciamiento entre líneas de cultivo. En el año 2000 se inició la secuencia de cultivos con trigo, el diseño experimental se implementó a la siembra de la soja (2000/2001), maíz (2001/2002) y soja

(2002/ 2003). En las parcelas con herbicida se usó alaclor (2 L/ha p.c., post-emergente) y atrazina (3 L/ha p.c., post-emergente) en el cultivo de maíz y glifosato (2,5 L/ha p.c., pre y post-emergente) en soja. En 2003/ 2004 se repitió el doble cultivo trigo/soja con met-sulfuron metil (6 L/ha p.c., pre-emergente en trigo) y glifosato (2 L/ha p.c., pre y post-emergente en soja) (Cuadro 1). El trigo se sembró en julio, la soja de segunda en diciembre, el maíz en octubre y la soja de primera en noviembre.

Procedimiento de muestreo

Los nematodos y las malezas se relevaron en floración de los cultivos de soja, al cabo de tres años de la aplicación de los tratamientos (20 de enero de 2003) y al cuarto año con el inicio de una nueva secuencia de cultivos y unificación de los tratamientos (3 de febrero de 2004). Para el muestreo de los nematodos se realizaron al azar 10 perforaciones de suelo (2 cm diámetro x 20 cm profundidad), en el centro de cada parcela. Cada muestra compuesta se mantuvo individualizada en bolsa plástica, en cámara de frío a temperatura menor de <15 °C por no más de 48 hs hasta su procesamiento (Blair *et al.*, 1996; Yeates y Bongers, 1999). Los nematodos se separaron del suelo usando el método de flotación

centrifugación (Blair *et al.*, 1996). Las morfoespecies y/o especies y los grupos tróficos (fitófagos, fungívoros, bacterívoro, omnívoros y depredadores), se determinaron usando características morfológicas y según las categorías descritas por Yeates *et al.* (1993) y Chaves *et al.* (1995). Las morfoespecies se codificaron con la letra F y tres números.

El relevamiento de malezas se realizó registrando todas las especies presentes. La cobertura del cultivo y las malezas se estimó mediante el método de abundancia-cobertura (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974), asignando los valores de 0,1 y 0,5 a las abundancias de valores menores o mayores a 5 plantas respectivamente, y su valor directo en porcentaje cuando la cobertura igualaba o superaba el 1% de la superficie.

En las malezas la caracterización de los metabolitos secundarios se realizó a nivel de la familia botánica a la cual pertenecía cada especie (Cronquist, 1993; Gottlieb *et al.*, 2001). Ello permitió unificar criterios de cuantificación de los metabolitos y eliminar sesgos metodológicos que se producen en la evaluación a nivel de especie. Además, se agruparon, considerando su función antiherbívoro, en alcaloides, glucósidos, saponinas y otros terpenos, y poliacetilenos (Taiz y Zeiger, 2006). Para estimar los cambios en las funciones químicas de la vegetación se utilizó

Cuadro 1. Secuencia de cultivos y aplicación de herbicidas en las parcelas experimentales según las siguientes combinaciones: sin cultivo sin herbicida (WW); con cultivo sin herbicida (CW); sin cultivo con herbicida (WH) y con cultivo con herbicida (CH).

Tratamiento	Campaña			
	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04
WW				Trigo/Soja Metsulfuron metil (6 L/ha)/ Glifosato (2,5 L/ha)
CW	Trigo/Soja	Maíz	Soja	Trigo/Soja Metsulfuron metil (6 L/ha)/ Glifosato (2,5 L/ha)
WH	Metsulfuron metil (6 L/ha)/ Glifosato (2,5 L/ha)	Alaclor (2 L/ha) + Atrazina (3 L/ha)	Glifosato (2,5 L/ha)	Trigo/Soja Metsulfuron metil (6 L/ha)/ Glifosato (2,5 L/ha)
CH	Trigo/Soja Metsulfuron metil (6 L/ha)/ Glifosato (2,5 L/ha)	Maíz Alaclor (2 L/ha) + Atrazina (3 L/ha)	Soja Glifosato (2,5 L/ha)	Trigo/Soja Metsulfuron metil (6 L/ha)/ Glifosato (2,5 L/ha)

el número de ocurrencia, que corresponde al número de especies en cada familia con un metabolito secundario particular (Gottlieb *et al.*, 2001).

Análisis de los datos

Los tratamientos, grupos tróficos de nematodos, metabolitos secundarios y especies de malezas se combinaron en cuadros, donde grupos tróficos, metabolitos secundarios y malezas se muestran en las filas y tratamientos en las columnas. Para los grupos tróficos, metabolitos secundarios y malezas se calculó la riqueza promedio. Para los nematodos y las malezas se calculó constancia, porcentaje de parcelas en cada tratamiento en donde aparece una morfoespecie/especie. Para los metabolitos secundarios se calculó el número de ocurrencia, es decir, número de especies en cada familia con un metabolito secundario particular. La riqueza de nematodos por grupo trófico y de metabolitos secundarios de las malezas, en ambos relevamientos, se analizó con un modelo lineal generalizado usando la función normal (GLM). Los datos de riqueza de los nematodos fueron transformados por medio de raíz cuadrada para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Las morfoespecies que se asignaron a un grupo trófico no se consideraron en el análisis. Las medias se compararon con el test de Tukey con nivel de probabilidad de 0,05. El análisis se realizó con InfoStat, versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

La distribución de los nematodos se analizó mediante técnicas de clasificación y análisis de correspondencia canónica. Las morfoespecies de nematodos con presencia menor al 10% de las parcelas se eliminaron de ambos análisis. En la clasificación se utilizó el índice de Sorensen, en su versión modificada por Bray y Curtis para los morfoespecies de nematodos y las parcelas. Se utilizó ligamiento completo para obtener grupos con mayor homogeneidad en la distribución de las morfoespecies de nematodos y ligamiento promedio para obtener grupos con mayor heterogeneidad en la distribución de parcelas (van Tongeren, 1987). Ambas clasificaciones se presentan en un cuadro de doble entrada donde en las filas están los morfoespecies de nematodos y en las columnas los tratamientos por relevamiento. El test no paramétrico de procedimiento de permutación multi-respuesta (MRPP) se utilizó para testear diferencias entre grupos de nematodos asociados a los distintos

tratamientos (Zimmerman *et al.*, 1985). Los grupos de morfoespecies de nematodos se formaron a partir de los resultados de la clasificación de las parcelas en función de la distribución de los nematodos (van Tongeren, 1987).

En el análisis de correspondencia canónica los datos se centraron y normalizaron (ter Braak, 1987). Como variables explicatorias se utilizaron cobertura de las malezas (*Amaranthus quitensis* H.B.K., *Anoda cristata* (L.) Schlecht, *Bidens subalternans* de Candolle, *Chenopodium album* L., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Setaria verticillata* (L.) Beauv., *Tagetes minuta* L., *Zea mays* L.) y del cultivo (*Glycine max* (L.) Merr.), herbicida utilizado en la campaña, cultivo y herbicida utilizado en la campaña anterior. Las variables agronómicas se incluyeron como variables "dummy". Para determinar la asociación entre los nematodos relevados en las diferentes parcelas y las variables explicatorias se construyó una figura "biplot", donde los vectores indican las variables y los nematodos y las parcelas se distribuyen en función del primer y segundo eje canónico (ter Braak, 1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Grupos funcionales de nematodos

La clasificación de las 29 morfoespecies de nematodos mostró diferencias significativas ($P < 0,001$) entre los dos relevamientos caracterizados por distintos grupos de nematodos. El primer relevamiento se caracteriza por los grupos I; II y IV y el segundo por I; III y IV (Cuadro 2). Si bien estos resultados sugieren que hay cierta redundancia (Lawton, 1994) dentro de los grupos funcionales, es importante considerar el mantenimiento de las funciones. Por ejemplo, *Diphtherophora* sp. (F045) y *Aphelenchus avenae* (F005) son las únicas especies fungívoras, si una no está presente la otra asegura el mantenimiento de las propiedades funcionales del agroecosistema (Sánchez-Moreno y Ferris, 2007) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Constancia y riqueza promedio de nematodos por relevamiento en parcelas bajo rotación de cultivos y tratamiento diferencial de herbicidas.

Grupo	Orden	Super F./Familia	Especie/Morfoespecie	Relevamiento										Grupo trófico
				Primero					Segundo					
				WW	CW	WH	CH	WW	CW	WH	CH			
I	Tylenchida	Hoplaimidae	<i>Helicotylenchus</i> sp.	F001	100	100	100	100	67	100	100	100	100	Fitófago
	Mononchida	Iotonchulidae	<i>Iotonchus</i> sp.	F004	100	100	67	100	67	100	67	100	Depredador	
	Tylenchida	Aphelenchidae	<i>Aphelenchus a venae</i>	F005	100	67	100	67	100	100	100	100	Fungívoro	
	Tylenchida	Hoplaimidae		F008	67	100	100	100	100	67	67	100	Bacterívoro	
	Dorylaimida			F025		67	33	33	33	100	67	100	Omnívoro	
	Tylenchida	Hoplaimidae	<i>Helicotylenchus</i> sp.	F011	67	33	67	33	67	67	33	67	Fitófago	
				F027		67	33	33	33	67	67	100		
				F026		67	100						Omnívoro	
II	Dorylaimida	Nortidae	<i>Pungentus</i> sp.	F014	100	100	100	33	33	67	33	67	Omnívoro	
	Dorylaimida			F006	67	67	100	100	33	33		33	Depredador	
	Mononchida	Iotonchulidae	<i>Iotonchus</i> sp.	F015	67	100	100	67		67		67	Fitófago	
				F010	67	100	67	100	67	67	67	67	Fitófago	
				F013	67	33	67	33		33				
				F034		33	33		67	67	100	100	Bacterívoro	
				F036	33		33	33	33	67	100	33		
				F017	33	33		33		33	67	33		
III	Tylenchida	Pratylenchid ae	<i>Pratylenchus</i> sp.	F012	33	33			33	33	67	67	Fitófago	
	Tylenchida	Hoplaimidae		F016			33		67	67	100	100	Fitófago	
				F050					33	67	33	33	Fitófago	
	Dorylaimida	Diphtherophoridae	<i>Diphtherophora</i> sp.	F045					33	33	67	33	Fungívoro	
	Tylenchida	Meloidogynidae	<i>Meloidogyn</i> sp.	F058					67	100	67	67	Fitófago	
	Rhabditida			F046						67	100		Bacterívoro	
	Dorylaimida	Longidoridae	<i>Xiphinema</i> sp.	F054					33	33	33	67	Fitófago	
	Dorylaimida	Dorylaimoidea		F056					33	33	33	33	Omnívoro	
				F043					33	33	33	33	Depredador	
	IV				F007	33		33			33			
					F021	33	33			33				
					F048				33		67	33		
					F024	33	67							
	Riqueza promedio													
24 26 24 25 24 32 30 27														

WW: sin cultivo sin herbicida, CW: con cultivo sin herbicida, WH: sin cultivo con herbicida, y CH: con cultivo con herbicida. F y números: nematodo.

WW: sin cultivo sin herbicida, CW: con cultivo sin herbicida, WH: sin cultivo con herbicida, y CH: con cultivo con herbicida. F y números: nematodo.

Algunos nematodos fitófagos como *Helicotylenchus* spp. (F001 y F011) estuvieron presentes en ambos relevamientos, mientras que *Meloidogyne* sp. (F058) y *Xiphinema* sp. (F054) estuvieron únicamente en el segundo relevamiento (Cuadro 2). Probablemente de un relevamiento al siguiente aumentó su abundancia permitiendo relevirlas con la técnica utilizada, ya que es poco probable que estas especies ingresen de una campaña a otra dada su escasa movilidad. Por otra parte, la mayor proporción de fitófagos observada en el segundo relevamiento podría explicarse en que todas las parcelas tuvieron doble cultivo trigo-soja y menor cobertura de malezas por la aplicación de herbicidas. Este resultado indicaría la reducción de los servicios del suelo tanto, por cambios en el contenido de materia orgánica, nitratos, pH y agua (Yeates, 1999; Yeates y Bongers, 1999; Villenave *et al.*, 2001; Berkelmans *et al.*, 2003; Sánchez-Moreno y Ferris, 2007) como en el rendimiento del cultivo (Howard *et al.*, 1998; Wrather *et al.*, 2001).

La riqueza de nematodos no presentó diferencias significativas entre los tratamientos de cada relevamiento ($P=0,28$ y $P=0,31$) y la proporción de grupos funcionales fue similar entre tratamientos (31% fitófagos, 14% omnívoros, 14% depredadores, 7% fungívoros y 10% bacterívoro) (Cuadro 2). El análisis de la riqueza de morfoespecies por grupos tróficos, mostró para los omnívoros interacción significativa ($P=0,01$) entre los factores cultivo y herbicida en el primer relevamiento (Cuadro 3). El resultado del análisis de cada factor en forma separada mostró diferencias significativas, entre los tratamientos con y sin herbicida, sin cultivo ($P=0,04$) y con cultivo ($P=0,05$). Siendo mayor la riqueza de omnívoros en los tratamientos sin cultivo con herbicida y con cultivo sin herbicida. Entre los tratamientos con y sin cultivo mostró diferencias significativas ($P=0,02$) sin herbicida, siendo mayor la riqueza en los tratamientos con cultivo. En tanto que los restantes grupos tróficos y el total de morfoespecies no presentaron diferencias entre factores ni interacciones.

Grupos funcionales de malezas

En el primer y segundo relevamiento, se registraron 8 y 5 especies de malezas respectivamente. *D. sanguinalis* y *A. cristata* estuvieron presentes en todos los tratamientos de ambos relevamientos. *D. sanguinalis* con 100% de constancia en todos los casos. En tanto que otras especies como *T. minuta* estuvo presente en el primer relevamiento con constancias superiores al 60% en todos los tratamientos (Cuadro 4). Los resultados obtenidos en relación con la composición de malezas coinciden con los antecedentes para la región. *D. sanguinalis* y *A. cristata*, son malezas con alta constancia en los cultivos de verano en la Pampa Ondulada (Suárez *et al.*, 2001; de la Fuente *et al.*, 2003 y 2006). *T. minuta*, *B. subalternans* y *S. verticillata*, son especies cuya constancia o presencia está condicionada al manejo de la parcela o al año de relevamiento (especies indicadoras, Suárez *et al.*, 2001).

Considerando el primer relevamiento, la riqueza de metabolitos totales ($P=0,01$), alcaloides ($P=0,02$), glucósidos ($P=0,03$), saponinas ($P=0,005$), poliacetilenos ($P=0,05$) y terpenos ($P=0,05$) presentaron diferencias significativas para el factor herbicida, siendo mayor en los tratamientos sin herbicida (Cuadro 5). Saponinas también presentó diferencia significativa para el factor cultivo ($P=0,002$), siendo mayor en los tratamientos sin cultivo. En el segundo relevamiento la riqueza de metabolitos secundarios totales mostró diferencias significativas para el factor cultivo ($P=0,04$) siendo mayor en el tratamiento sin cultivo. Mientras que alcaloides, glucósidos y saponinas no mostraron diferencias significativas para ninguno de los factores o su interacción (Cuadro 5). Los alcaloides como grupo incluyen una gran riqueza de subgrupos estructurales (Gottlieb *et al.*, 2001; Taiz y Zeiger, 2006) y como tal están presentes en familias tan diversas como las Chenopodiaceae y Poaceae (Cronquist, 1993). *Chenopium album* y *Digitaria sanguinalis*, representantes de ambas familias, estuvieron presentes en ambos relevamientos con alta constancia (Cuadro 4). Los grupos poliacetilenos y terpenos, metabolitos con propiedades nematocidas/nema-

Cuadro 3. Valores de riqueza resultado del análisis del modelo lineal generalizado para la riqueza media y desviación estándar por grupo trófico y del total de nematodos por relevamiento.

Grupo trófico	Relevamiento							
	Primero				Segundo			
	WW	CW	WH	CH	WW	CW	WH	CH
	(número de morfoespecies)							
Fitófago	3,3 ± 0,6	4,3 ± 0,6	3,7 ± 0,6	3,8 ± 1	4,3 ± 1,1	6,7 ± 1,5	6,3 ± 2,1	6,3 ± 1
Bacterívoro	1 ± 1	2	1,8 ± 0,6	2 ± 0,6	1,8 ± 1	3 ± 1	4 ± 1	2,7 ± 0,6
Depredador	2 ± 1	1,7 ± 0,6	2 ± 1	2 ± 0,6	1,8 ± 1,1	2,3 ± 1,5	2	2 ± 1
Omnívoro	1,1 ^c ± 0,6	2,6 ^b ± 1	2,9 ^a ± 0,6	1,7 ^d ± 0,6	1,1 ± 0,6	1,5 ± 0,6	1,3 ± 0,6	1,7 ± 1
Fungívoro	1	0,7 ± 0,6	1	0,7 ± 0,6	1,3 ± 0,6	0,7 ± 0,6	1,8 ± 0,6	2 ± 0,6
Total	8,3 ± 2,3	9,7 ± 1,7	10 ± 2,3	9,3 ± 3	10 ± 3,5	16,7 ± 2,6	14,3 ± 2,5	13,7 ± 2,1

Letras distintas indican diferencia significativa $P < 0,05$.

Cuadro 4. Constancia y riqueza promedio de malezas por relevamiento en parcelas bajo rotación de cultivos y tratamiento diferencial de herbicidas.

Especie	Relevamiento							
	Primero				Segundo			
	WW	CW	WH	CH	WW	CW	WH	CH
	Constancia (%)							
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Anoda cristata</i> (L.) Schlecht	33	33	33	33	67	67	33	33
<i>Chenopodium album</i> L.	100	67	67		33	33	33	33
<i>Amaranthus quitensis</i> H.B.K.	100	33	100				33	
<i>Tagetes minuta</i> L.	100	100	67					
<i>Setaria verticillata</i> (L.) Beauv.	33	67						
<i>Bidens subalternans</i> de Candolle	67			33	67			
<i>Zea mays</i> L.		33						
Riqueza promedio	5,3	5,3	3,7	2,7	3,7	3,0	3,0	2,7

WW: sin cultivo sin herbicida, CW: con cultivo sin herbicida, WH: sin cultivo con herbicida, y CH: con cultivo con herbicida.

Cuadro 5. Valores de probabilidad resultado del análisis del modelo lineal generalizado para la riqueza media por grupo y del total de metabolitos secundarios con actividad antifitófago por relevamiento.

Metabolitos secundarios	Relevamiento							
	Primero				Segundo			
	WW	CW	WH	CH	WW	CW	WH	CH
	(número de ocurrencia)							
Alcaloides	3 ^a	3,7 ^a	2,3 ^b	2,3 ^b	3	2,3	2,3	2,3
Glucósidos	2 ^a	2,7 ^b	1,7 ^c	2,3 ^d	2,7	2	2	2
Saponinas	3	1,7	2,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Poliacetilenos	1,1 ^a	1 ^a	0,7 ^b	0,3 ^b	0,3			
Terpenos	1,1 ^a	1 ^a	0,7 ^b	0,3 ^b	0,3			
Total	3,3 ^a	3,4 ^a	2,6 ^b	2,3 ^b	2,8	2,1	2,2	2,1

Letras distintas indican diferencia significativa $P < 0,05$.

tostáticas (Gil *et al.*, 2000; Hooks *et al.*, 2010), en el segundo relevamiento se encontraron solamente en el tratamiento sin cultivo sin herbicida por la presencia de *Bidens subalternans*. Estos metabolitos son liberados a la rizosfera o están en los tejidos vegetales y su ausencia podría explicar la mayor presencia de nematodos fitófagos en este relevamiento (Cuadro 3). Nuevamente las prácticas agrícolas por sus efectos directos en las malezas o indirectos en nematodos modifican los servicios que estos realizan en el agroecosistema.

Relación nematodos, malezas y manejo

El ICCA explicó 40,6% de la variación de la distribución de los nematodos relacionado principalmente con tres variables (correlación mayor al 50%). El eje 1 (25,1% de variación explicada) presentó un contraste entre los dos relevamientos y estuvo principalmente relacionado con la cobertura de *D. sanguinalis* y *T. minuta*, y el herbicida utilizado en la campaña del relevamiento. El eje 2 (8,6% de variación explicada) estuvo relacionado con la cobertura de *C. album*. El eje 3 (6,9% de variación explicada) estuvo relacionado con el cultivo de la campaña anterior (Fig. 1 y Cuadro 6).

En el eje 1 del diagrama de ordenamiento se pueden apreciar dos grupos contrastantes a la derecha el primer relevamiento y a la izquierda el segundo relevamiento (Fig. 1). Este contraste se relaciona principalmente con la presencia del grupo III de nematodos donde 42% son fitófagos (Cuadro 2).

Tanto el cultivo como el uso de herbicidas son causas probables de las diferencias observadas en la composición de morfoespecies de fitófagos. *Meloidogyne* spp. y *H. glycines*, en las condiciones del experimento pueden parasitar al cultivo de soja (Doucet y Lax, 1999; Wrather *et al.*, 2001) que fue la especie dominante en el segundo relevamiento. La soja también puede ser parasitada por fitófagos migradores como *Pratylenchus* sp. (F012). Por otra parte, estos resultados pueden ser relacionados con la reducción, por uso de herbicidas, en constancia de algunas malezas, tal

como *Tagetes minuta*. Esta especie produce y libera al suelo metabolitos nematicidas (terpenos y poliacetilenos) y puede actuar como huésped trampa (Gil *et al.*, 2000; Hooks *et al.*, 2010).

La composición de nematodos presenta un contraste entre años, uso de herbicida y cobertura de malezas. También su distribución diferencia la heterogeneidad de las parcelas generada entre 2001 y 2003 por diferencias en el manejo, y la homogeneidad introducida en 2004, al unificar la aplicación de herbicida y el cultivo. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Yeates y Bongers (1999), quienes estudiaron el efecto de diferentes especies vegetales y de variables abióticas en lotes con y sin cultivo sobre la riqueza y la estructura funcional de comunidades de nematodos.

En la Argentina son pocos los estudios que relacionan comunidades de nematodos y la vegetación en agroecosistemas (Chaves *et al.*, 1995; Doucet, 1999; Mondino, 2001). Esta investigación constituye un aporte al estudio de interacciones complejas entre cultivo, malezas, y nematodos, que afectan la producción agrícola en lotes de la Pampa Ondulada.

Cuadro 6. Correlación intragrupo de las variables explicatorias para los tres primeros ejes del análisis de correlación canónica.

Variable	Correlación		
	Eje 1	Eje 2	Eje 3
<i>Amaranthus quitensis</i> H.B.K.	0,42	-0,08	0,11
<i>Anoda cristata</i> (L.) Schlecht	0,28	0,31	0,11
<i>Bidens subalternans</i> de Candolle	0,36	-0,37	-0,26
<i>Chenopodium album</i> L.	0,47	-0,43	-0,08
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	0,66	0,15	0,24
<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	-0,23	0,11	-0,17
<i>Setaria verticillata</i> (L.) Beauv.	0,49	-0,11	0,24
<i>Tagetes minuta</i> L.	0,62	-0,29	0,06
<i>Zea mays</i> L.	0,33	-0,02	-0,26
Herbicida de la campaña (Herbicida)	-0,62	0,36	-0,12
Cultivo en la campaña anterior	-0,02	0,01	0,48
Herbicida en la campaña anterior	-0,10	0,03	-0,03

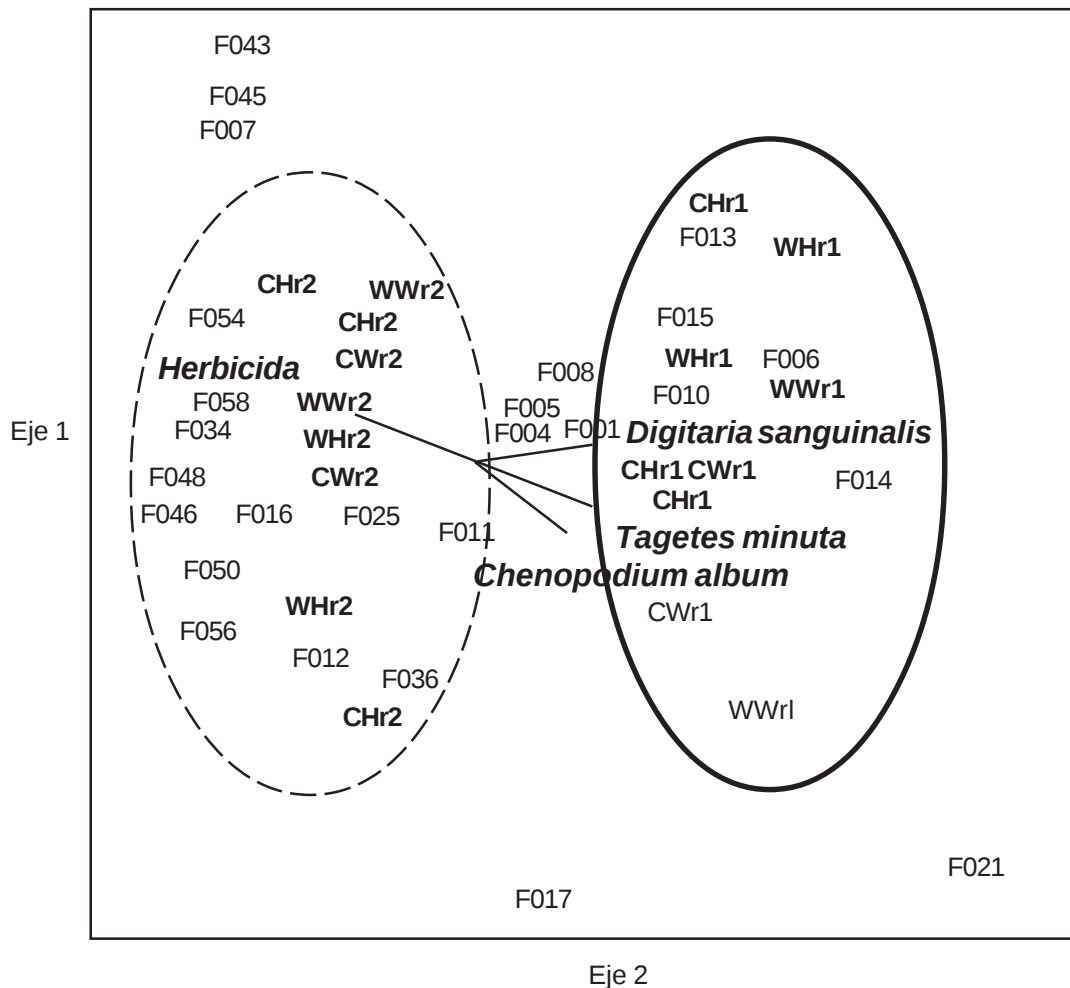


Figura 1. Diagrama del ordenamiento de las parcelas experimentales con la composición de nematodos para los dos primeros ejes de correlación canónica. Línea entre cortada agrupa parcelas del primer relevamiento (r_1). Línea entera agrupa parcelas del segundo relevamiento (r_2). Los códigos de los vectores son herbicida (Herbicida) y abundancia-cobertura de *Digitaria sanguinalis*, *Tagetes minuta* y *Chenopodium album*. WW: sin cultivo sin herbicida, CW: con cultivo sin herbicida, WH: sin cultivo con herbicida, y CH: con cultivo con herbicida. F y números: nematodo.

CONCLUSIONES

La aplicación del herbicida glifosato y la presencia de malezas fueron los factores que mayor impacto tuvieron sobre la composición de nematodos edáficos en el Argiudol donde se realizaron las experiencias. La historia de manejo, relacionada con la siembra de los cultivos de trigo y de soja, y la aplicación de herbicida junto a fac-

tores aleatorios de la presencia de malezas, provocaron cambios en la composición florística de las comunidades de malezas siendo *T. minuta*, *B. subalternans* y *S. verticillata*, las especies más sensibles a las diferencias de manejo. Los incrementos en los nematodos fitófagos estuvieron relacionados con la ausencia de *T. minuta* y de otras especies productoras de metabolitos se-

cundarios como los poliacetilenos y terpenos. Esta información es importante ya que el manejo del cultivo tendiente a reducir la cobertura de malezas favorece la infestación del suelo con nematodos fitófagos reduciendo su calidad para la producción de los cultivos. Es posible pensar que los factores de manejo podrían orientarse para permitir que en las rotaciones se establezcan

algunos grupos de malezas, que como *T. minuta* produzcan metabolitos secundarios a fin de reducir el incremento de fitófagos en la nematofauna de los cultivos.

Agradecimientos

A.P. Dodds y A. Guglielmini, por permitirnos realizar estos relevamientos en sus áreas experimentales. El presente trabajo fue financiado por SECyT-UNRC 18/C436.

BIBLIOGRAFÍA

- Berkelmans, R.; H. Ferris; M. Tenuta and A.H.C. van Bruggen. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology* 23: 223-235.
- Blair, J.M.; P.J. Bohlen and D.W. Freckman. 1996. Soil invertebrates as indicators of soil quality. In: Doran J.W. and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America, Special Publication 49, Madison, USA. Pp. 273-291.
- Campos-Herrera, R.; A. Piedra-Buena; M. Escuer; B. Montalbán and C. Gutiérrez. 2010. Effect of seasonality and agricultural practices on occurrence of entomopathogenic nematodes and soil characteristics in La Rioja (Northern Spain). *Pedobiología* 53: 253-258.
- Chaves, E.J.; M.M. Echeverría y M.S. Torres. 1995. Clave para determinar géneros de nematodos del suelo de la República Argentina. Fac. de Ciencias Agrarias Univ. Nac. de Mar del Plata, Mar del Plata, Argentina. 91 p.
- Cronquist, A. 1993. The evolution and classification of flowering plants. 2° The New York Botanical Garden, New York, USA. 555 p.
- Darby, B.J.; D.A. Neher and J. Belnap. 2007. Soil nematode communities are ecologically more mature beneath late- than early-succesional stage biological soil crusts. *Applied Soil Ecology* 35: 203-212.
- de la Fuente, E.B.; S.A. Suárez and C.M. Ghersa. 2003. Weed and insect communities in wheat with different management. *Agronomy Journal* 95: 1542-1549.
- de la Fuente, E.B.; S.A. Suárez and C.M. Ghersa. 2006. Soybean weed community composition and richness between 1995 and 2003 in the Rolling Pampas (Argentina). *Agriculture Ecosystems y Environment* 115(1-4): 229-236.
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C.W. Robledo. INFOSTAT version 2008. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 2004.
- Doucet, M.E. 1999. Nematodos del suelo asociados con vegetales en la República Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Serie de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria No 24, Bs. As., Argentina. 259 p.
- Doucet, M.E. and P. Lax. 1999. Presence of the nematode *Heterodera glycines* (Nematoda: Tylenchida) associated with soybean in Argentina. *Nematology* 1(2): 213-216.
- Gil, A.; C.M. Ghersa and S. Leicach. S. 2000. Essential oil yield and composition of *Tagetes minuta* accessions from Argentina. *Biochemical Systematics and Ecology* 28: 261-274.
- Gottlieb, O.R.; M.A.C. Kaplan y M.R. de M.B. Borin. 2001. Biodiversidad. Un enfoque integrado entre la Química y la Biología. Artes Gráficas Buschi S.A., Bs. As., Argentina. 239 p.
- Hooks, C.R.R.; K.-H. Wang; A. Ploeg and R. McSorley. 2010. Using marigold (*Tagetes* spp.) as a cover crop to protect crops from plant-parasitic nematodes. *Applied Soil Ecology* 46: 307-320.
- Howard, D.D.; A.Y. Chambers and G.M. Lessman. 1998. Rotation and fertilization effects on corn and soybean yields and soybean cyst nematode populations in a no-tillage system. *Agronomy Journal* 90: 518-522.

- Lawton, J.H. 1994. What do species do in ecosystems? *Oikos* 71: 367-374.
- Mondino, E.A. 2001. Efecto de las rotaciones, las labranzas y la fertilización nitrogenada sobre la nematofauna del suelo. Tesis de maestría en Producción Vegetal, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. 66 p.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley y Sons, New York, USA. 547 p.
- Radosevich, S.R.; J.S. Holt and C.M. Ghera. 2007. Herbicides. In: Radosevich S.R.; J.S. Holt y C.M. Ghera (eds) *Ecology of weed and invasive plants. Relationship to agriculture and natural resource management*. John Wiley y Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA. Pp. 307-346.
- Sánchez-Moreno, S. and H. Ferris. 2007. Suppressive service of the soil food web: effects of environmental management. *Agricultural, Ecosystems y Environment* 119: 75-87.
- Stephen, H.T.; J. Schroeder and L.W. Murray. 2005. The role of weeds in nematode management. *Weed Science* 53: 923-928.
- Suárez, S.A.; E.B. de la Fuente; C.M. Ghera and R.J.C. León. 2001. Weed community as an indicator of summer crop yield and site quality. *Agronomy Journal* 93: 524-530.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Secondary metabolites and plant defenses. In: Taiz L. y E. Zeiger (eds) *Plant physiology*. 4th ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. Pp. 315-344
- ter Braak, C.J.F. 1987. Ordination. In: Jongman R.H.G.; C.J.F. ter Braak y O.F.R. van Tongeren (eds) *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. Pp. 91-173.
- van Tongeren, O.F.R. 1987. Cluster analysis. In: Jongman R.H.G.; C.J.F. ter Braak and O.F.R. van Tongeren (eds) *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. Pp. 174-206.
- Zimmerman, G.M.; H. Goetz and P.W. Mielke Jr. 1985. Use of improved statistical method for group comparisons to study effects of prairie fire, *Ecology* 66: 606-611.
- Villanave, C.; T. Bongers; K. Ekschmitt; D. Djigal and J.L. Chotte. 2001. Changes in nematode communities following cultivation of soil after fallow periods of different length. *Applied Soil Ecology* 17: 43-52.
- Wrather, J.A.; T.R. Anderson; D.M. Arsyad; Y. Tan; L.D. Ploper; A. Porta-Puglia; H.H. Ram and J.T. Yorinori. 2001. Soybean disease loss estimates for the top ten soybean-producing countries in 1998. *Canadian Journal Plant Pathology* 23: 115-121.
- Yeates, G.W. 1999. Effects of plants on nematode community structure. *Annual Review Phytopathology* 37: 127-149.
- Yeates, G.W. and T. Bongers. 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems y Environment* 74: 113-135.
- Yeates, G.W.; T. Bongers; R.G.M. de Goede; D.W. Freckman and S.S. Georgieva. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera. An outline for soil ecologists. *Journal Nematology* 25(3): 315-331.

