

EFFECTOS DEL CULTIVO DE SOJA TRANSGÉNICA EN SIEMBRA DIRECTA SOBRE LA TAXOCENOSIS DE ÁCAROS EDÁFICOS EN HAPLUSTOLES DEL CENTRO DE CÓRDOBA

ROMINA VANESA AROLFO^{1,2*}; JOSÉ CAMILO BEDANO^{1,2} & ANALÍA ROSA BECKER¹

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36, km 601, (X5804 BYA) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

2 CONICET.

*Correo electrónico: rarolfo@exa.unrc.edu.ar

Recibido: 28-06-10

Aceptado: 08-11-10

RESUMEN

Los sistemas de siembra directa carecen de mezclado mecánico de los rastrojos con el suelo mineral por lo que dependen principalmente de los organismos del suelo para su funcionamiento adecuado, asemejándose a ecosistemas naturales. Los ácaros son uno de los grupos más abundantes y diversos de la mesofauna del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en la taxocenosis de ácaros producto del monocultivo de soja en siembra directa, con respecto a la taxocenosis original de pastizales naturales, en Haplustoles típicos de la cuenca General Deheza, Córdoba. Adicionalmente se evaluaron los cambios en las propiedades del suelo que se relacionan con estos organismos. La soja en siembra directa produjo una disminución de la abundancia de ácaros de la hojarasca y el suelo y cambios en la dominancia de los diferentes taxones: los sitios naturales estuvieron dominados por oribátidos, mientras que en los sitios con manejo dominaron los prostigmatas. Así, con respecto a estas características, la mesofauna de los sitios con soja en siembra directa se asemeja más a la de suelos cultivados con labranza, que a la de sitios naturales. Se sugiere que la mayor densidad aparente, el menor contenido de materia orgánica y humedad del suelo manejado, los agroquímicos aplicados y el aporte menor de rastrojos por parte de la soja, son los factores que explican las diferencias encontradas en las comunidades faunísticas. Los cambios observados en la taxocenosis de ácaros afectarían el proceso de descomposición de restos vegetales y por tanto se traducirían en una disminución de la calidad del suelo.

Palabras clave. Comunidad original, rastrojos, compactación, agroquímicos.

EFFECTS OF TRANSGENIC SOYBEAN CULTIVATION UNDER NO-TILLAGE ON SOIL MITE TAXOCENOSIS IN HAPLUSTOLLS OF CENTRAL CORDOBA

ABSTRACT

The lack of mechanical mixing of stubble with mineral soil under no-tillage means that this management technique depends mainly on soil organisms to function properly, resembling natural ecosystems. Mites are one of the most abundant and diverse groups of soil mesofauna. The aim of this study was to evaluate changes in mite taxocenosis produced by soybean monoculture under no-tillage with respect to the original natural grassland taxocenosis, in Typic Haplustolls of General Deheza basin, Córdoba. Changes in soil properties related to these organisms were also evaluated. The no-tillage system led to a decrease in mite abundance in litter and soil and changes in the dominance of different taxa: natural grasslands were dominated by Oribatida and managed sites were dominated by Prostigmata. In this sense the mesofauna of no-tillage sites are more similar to those of tilled land than to those of natural soils. It is suggested that the higher bulk density, the lower soil organic matter and moisture content of managed soils, the agrochemical load and the low return of soybean residues are the factors that best explain the differences in faunal communities. The changes observed in mite taxocenosis affect the litter decomposition process, resulting in a decrease in soil quality.

Key words. Original community, litter, compaction, agrochemicals.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso crítico no solo para la producción agrícola sino para el mantenimiento de la mayoría de los procesos de la vida. La meta global en la protección del suelo es mantener una «buena calidad de suelo», lo que significa que ciertas funciones claves deben ser

llevadas a cabo, tales como las «funciones de sostén de la vida», que son esenciales para el mantenimiento de la calidad ambiental y la salud humana (Beck *et al.*, 2005). La fauna edáfica está involucrada en procesos importantes que permiten que el suelo provea estas funciones: fragmentación y descomposición del material orgánico,

reciclado y disponibilidad de nutrientes, capacidad de auto depuración, filtrado del agua y del aire, degradación de contaminantes, formación de estructura del suelo (bioturbación y formación de agregados) y estabilidad del ecosistema (Beck *et al.*, 2005).

Los ácaros son uno de los grupos más abundantes y diversos de la mesofauna del suelo, donde constituyen más del 80% de todos los artrópodos (Osler & Beattie, 2001). En el suelo están representados por cuatro subórdenes: Oribatida, Mesostigmata, Prostigmata y Astigmata. Los Oribatida son principalmente fungívoros, los Mesostigmata son depredadores, los Prostigmata son fungívoros o predadores y los Astigmata son bacteriófagos y fungívoros (Mueller *et al.*, 1990). El rol de los ácaros en el funcionamiento de la red trófica de descomposición ha sido demostrado por varios autores (*e.g.* Hagvar, 1988; Heneghan *et al.*, 1999). Contribuyen en la descomposición y el ciclado de nutrientes por sus interacciones tróficas con bacterias y hongos y por el transporte de propágulos fúngicos (Heneghan & Bolger, 1998). Algunos grupos de ácaros también influyen directamente en la descomposición por el desmenuzamiento de materia orgánica, mezclado y canalización de detritos (Bedano *et al.*, 2006). Como consecuencia del vínculo entre las actividades de los ácaros del suelo y los procesos ecosistémicos, los cambios que se producen en la comunidad de ácaros pueden influenciar en estos procesos y afectar la producción primaria de las plantas (Heneghan *et al.*, 1999; Clapperton *et al.*, 2002).

El aumento de la intervención humana en los agroecosistemas generalmente destruye el hábitat de los organismos edáficos, eliminando los mecanismos homeostáticos naturales e impidiendo la autoregulación del ecosistema (Hülsmann & Wolters, 1998). Se ha demostrado que la densidad total de ácaros disminuye cuando el suelo está cultivado (Edwards & Lofty, 1969; Hülsmann & Wolters, 1998). Sin embargo, los distintos grupos de ácaros parecieran responder de diferente manera a las perturbaciones relacionadas al cultivo (Wardle, 1995; Hülsmann & Wolters, 1998; Kladvko, 2001). Behan-Pelletier (1999) ha señalado que ciertos grupos pueden incrementar su abundancia en suelos agrícolas, como por ejemplo, Astigmata y Prostigmata. Las comunidades de oribátidos son particularmente vulnerables a los disturbios (Lindberg, 2003) ya que tienen escasa capacidad para responder numéricamente a alteraciones ambientales de corto plazo (Behan-Pelletier, 1999).

Por definición, la siembra directa (SD) carece de mezclado mecánico del rastrojo de los cultivos con el suelo mineral. Desde este punto de vista, los sistemas de SD se asemejan a ecosistemas naturales no disturbados que dependen principalmente de los organismos del suelo para su funcionamiento adecuado (Kladvko, 2001). Sin

embargo, los estudios en los que se compara el efecto de la SD sobre las comunidades faunísticas originales son muy escasos. Los trabajos existentes comparan en general sitios bajo SD con sitios bajo labranza convencional. Algunos autores han observado que la SD produce un incremento (Hendrix *et al.*, 1986; Doran & Linn, 1994; Franchini & Rockett, 1996) y otros una disminución del total de ácaros (Loring *et al.*, 1981) con respecto a sistemas de labranza convencional.

Por otro lado, existe un importante cúmulo de evidencia que señala que en suelos bajo SD por períodos prolongados se produce una fuerte compactación del suelo (*e.g.* Hill & Cruse, 1985; Kladvko *et al.*, 1986; Krüger, 1996; Miura *et al.*, 2008) y que además el sistema trae aparejado importantes daños ambientales en relación al mayor uso de herbicidas y fertilizantes químicos (Kuiper *et al.*, 2000; Casabé *et al.*, 2007; Aizen *et al.*, 2009). Se sabe que, en los casos en que se produce un aumento del contenido de carbono orgánico bajo SD, esto ocurre en los primeros centímetros del suelo (0-5 cm), y que a medida que se incrementa la profundidad el carbono orgánico disminuye drásticamente (Duiker & Beegle, 2006).

En el sur de la provincia de Córdoba, la intensa actividad agrícola, fundamentalmente el cultivo de soja y el elevado uso de fertilizantes y agroquímicos ha generado procesos de degradación física, química y biológica en algunos suelos (Becker, 2006; Bedano *et al.*, 2006; Parra, 2006). La soja es el cultivo más perjudicial para la mayoría de la biota del suelo, comparado con otros cultivos (maíz y cereales), debido a la menor cantidad de materia orgánica disponible para ser utilizada como fuente de nutrientes por la fauna del suelo (Tomlin *et al.*, 1995). Sin embargo, en el país no existen datos respecto del efecto del cultivo de soja transgénica en SD sobre los ácaros edáficos. En este contexto, existe la necesidad de evaluar el efecto del monocultivo de soja en siembra directa sobre la fauna edáfica y detectar amenazas para la preservación de las funciones en las que estos organismos participan.

El objetivo de este trabajo es evaluar el cambio en la taxocenosis de ácaros edáficos producto del cultivo de soja transgénica en siembra directa, con respecto a la taxocenosis original, sin efecto del manejo. Se utiliza como comunidad de referencia la presente en suelos naturales donde, por definición, el funcionamiento del ecosistema suelo es el óptimo. Adicionalmente, se pretende evaluar los cambios en las propiedades del suelo que afectan la diversidad y abundancia de estos organismos. La hipótesis de trabajo es que el cultivo de soja transgénica en siembra directa disminuye la abundancia de los subórdenes de ácaros en comparación con sitios de referencia, dado que, si bien se elimina el efecto negativo de la labranza, presenta una importante compactación, un elevado uso de agroquímicos y un bajo aporte de residuos orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La presente investigación se realizó en una cuenca de llanura, ubicada al oeste de las localidades de General Deheza y General Cabrera, provincia de Córdoba. El área se caracteriza por presentar un clima templado subhúmedo con una estación seca muy marcada en invierno, una precipitación media anual de 695 mm y una temperatura media anual de 16,09 °C. El relieve es suave a muy suavemente ondulado constituido por depósitos loésicos en los que se desarrollan Haplustoles de aproximadamente un metro de profundidad. El uso histórico de la tierra ha sido predominantemente agrícola con ganadería subordinada. Durante un período de aproximadamente 35 años el principal cultivo fue el maní, que fue reemplazado paulatinamente por maíz, trigo y actualmente dominado por soja.

Descripción de los sitios de muestreo

En la cuenca se eligieron cuatro sitios de muestreo, dos sitios agrícolas con cultivo de soja transgénica en siembra directa (SSD) y dos sitios naturales (SN) tomados como referencia. Los SN son pastizales sin intervención antrópica desde hace 80 años, excepto cortes eventuales del pastizal en el SN2. El SN1 presenta mayor proporción de especies vegetales autóctonas.

El primer sitio cultivado (SSD1) lleva 16 años de uso exclusivamente agrícola, de los cuales 12 fueron con utilización continua de siembra directa. A partir del ciclo 2001/2002 se realizó una rotación de dos cultivos anuales (trigo/soja) intercalado con un año de maíz o soja como cultivo anual único. En el ciclo 2006/2007 se sembró trigo como cultivo de invierno, con aplicación de fertilizantes y herbicidas (1,5 kg ha⁻¹ de glifosato y 5 g ha⁻¹ de met-sulfurón). Sobre el rastrojo del trigo, a comienzo de diciembre se sembró soja de segunda. El segundo sitio cultivado (SSD2) lleva 26 años de uso únicamente agrícola, con la introducción de la siembra directa desde hace 10 años, de manera continua en los últimos seis. Desde la temporada 2001/2002 se realiza una rotación de dos años consecutivos de soja seguidos de un año de maíz. En el ciclo 2006/2007 no se sembró cultivo de invierno manteniendo el suelo bajo barbecho, con rastrojo de soja de la temporada anterior. Previo a la siembra de soja en diciembre, se aplicaron fertilizantes y herbicidas (120 cm³ ha⁻¹ de dicamba, 500 cm³ ha⁻¹ de 2,4-D amina y 1 kg ha⁻¹ de glifosato).

En los cuatro sitios se realizaron dos muestreos, el primero en agosto-septiembre y el segundo en diciembre de 2007.

Parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos del suelo

La descripción del perfil típico del suelo y el muestreo para su caracterización se efectuó según el Handbook N° 18 (Soil Survey Staff, 1993). La clasificación taxonómica del suelo se realizó según el Soil Survey Staff (2006).

Se evaluaron las siguientes propiedades del suelo: humedad gravimétrica, densidad aparente (DA), resistencia mecánica (RM), pH y contenido de materia orgánica (MO). Para la determinación de éstas propiedades se tomaron tres muestras de suelo mediante un diseño al azar en forma de zigzag en cada sitio y para cada tiempo de muestreo. Se evaluaron las propiedades en el horizonte A del

suelo, debido a que corresponde al área de muestreo de los ácaros. La MO se calculó por el método de Walkley y Black modificado (Jackson, 1976) y el pH por el método potenciométrico (relación suelo-agua 1:2,5). La DA se determinó por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) y en laboratorio se calculó la humedad gravimétrica (a 105 °C). La RM se determinó con un penetrómetro de impacto accionado en forma manual (Bradford, 1986). Posteriormente, se realizó el cálculo de la RM para la profundidad de 0-10 cm. Adicionalmente se midió el porcentaje de cobertura de hojarasca del suelo por medio de una cuadrata de 50 x 50 cm.

Muestreo de los ácaros

En cada sitio se tomaron diez muestras de suelo mediante el extractor de centro de O'Connor modificado (Parisi, 1979) y cada una se dividió en 2 submuestras: hojarasca y suelo (0-10 cm). Luego las muestras fueron procesadas en el sistema de Berlese modificado (Southwood, 1980) por siete días para la extracción de los ácaros. Los especímenes colectados fueron conservados en una solución de alcohol al 70% para su recuento mediante lupa binocular. Se procedió a la identificación taxonómica de los ácaros hasta una resolución de Suborden (Oribatida, Mesostigmata, Prostigmata y Astigmata). Se realizaron recuentos determinando la abundancia (número de individuos por muestra) de organismos en la hojarasca y el suelo.

Análisis estadísticos

Las comparaciones de los parámetros físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos entre los sitios de muestreo, se realizaron mediante el test de la t de Student, para evaluar el efecto del tiempo de muestreo y del manejo. Para llevar a cabo estos análisis las variables numéricas que no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, fueron transformadas. Cuando con las variables transformadas no se consiguió cumplir con los supuestos, se realizó un análisis no paramétrico (Mann-Whitney). Se utilizó el Análisis de Correlaciones Canónicas (ter Braak, 1986) para evaluar las relaciones entre la mesofauna y los parámetros del suelo en los sitios evaluados. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat (Universidad Nacional de Córdoba, 2008) y CANOCO (ter Braak & Smilauer, 2004).

RESULTADOS

Parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos del suelo

El suelo fue clasificado como Haplustol típico limoso grueso, illítico, térmico. Las propiedades del suelo de cada ambiente se presentan en la Tabla 1. En el pH, el contenido de materia orgánica y la densidad aparente no se verificó interacción significativa entre el tiempo de muestreo y el sistema ($p > 0,05$). En los dos muestreos se observó un mayor pH y MO y una menor DA en los sitios naturales que en los sitios con soja en siembra directa ($p < 0,05$). Por el contrario, sí hubo interacción significativa para la

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos del suelo en cada muestreo y para cada sistema.

Table 1. Average values of physical, chemical and physicochemical soil parameters in each sampling and for each system.

	Muestreo 1		Muestreo 2	
	SN	SSD	SN	SSD
Humedad (%)	19,74(3,39) a	10,8 (3,68) b	8,94 (2,91) a	15,40 (3,67) b
DA (g cm ⁻³)	1,21 (0,04) a	1,35 (0,10) b	1,21 (0,10) a	1,32 (0,08) b
RM (MPa)	6,75 (2,79) a	7,18 (3,38) a	10,99 (4,79) a	4,80 (1,47) b
pH	6,65 (0,25) a	6,06 (0,17) b	6,84 (0,38) a	5,97 (0,15) b
MO (%)	3,70 (0,60) a	2,49 (0,52) b	3,32 (0,45) a	2,68 (0,35) b

SN: Sitio natural; SSD: Soja en siembra directa; DA: densidad aparente; RM: resistencia mecánica; MO: materia orgánica. Letras distintas indican diferencias significativas entre sistemas para un mismo muestreo ($p < 0,05$). Entre paréntesis se muestran los desvíos estándar de los valores promedio.

SN: Natural site; SSD: Soybean under no-till; DA: Bulk density; RM: mechanical resistance; MO: organic matter. Different letters indicate significant differences between systems for the same sampling ($p < 0,05$). Standard deviations are given between parentheses.

humedad y la resistencia mecánica ($p < 0,05$). En el primer muestreo el suelo presentó un mayor contenido de humedad y menor RM en los SN comparado con las SSD, y lo inverso ocurrió en el segundo muestreo ($p < 0,05$) (Tabla 1). El porcentaje de cobertura vegetal del suelo fue de 100% en los SN en los dos muestreos, mientras que en las SSD fue de 85,2% en el primero y de 75% en el segundo muestreo.

Con respecto a las variaciones temporales, no se encontraron diferencias significativas en las propiedades del suelo, a excepción de la RM en las SSD, que fue mayor en el primer muestreo que en el segundo ($p < 0,05$).

Ácaros del suelo

En la hojarasca, en el primer muestreo, los Oribatida (Fig. 1) y Prostigmata (Fig. 3) fueron más abundantes en los SN que en las SSD ($p < 0,05$). Para Acari totales (Fig. 4) se observó el mismo patrón. En el segundo muestreo, se observó una mayor abundancia de Mesostigmata (Fig. 2) y Prostigmata (Fig. 3) en las SSD que en los SN ($p < 0,05$). En el suelo se encontraron, en los dos muestreos, mayores abundancias de Oribatida (Fig. 1) y Mesostigmata (Fig. 2) en los SN que en las SSD ($p < 0,05$). Lo mismo ocurrió para Acari totales (Fig. 4) en los dos muestreos.

En la hojarasca de los SN la abundancia de Oribatida (Fig. 1), Mesostigmata (Fig. 2) y Prostigmata (Fig. 3) fue mayor en el primer muestreo que en el segundo ($p < 0,05$). Esto se evidenció también en el total de ácaros (Fig. 4). Por el contrario, en el suelo la abundancia de Prostigmata (Fig. 3) y Astigmata fue mayor en el segundo muestreo que en el primero ($p < 0,05$). En el suelo de las SSD, la abundancia de Oribatida (Fig. 1), Mesostigmata (Fig. 2) y Prostigmata (Fig. 3) fue mayor en el segundo muestreo

que en el primero ($p < 0,05$), al igual que para Acari totales (Fig. 4).

En el Análisis de Correlaciones Canónicas (Fig. 5) el eje 1 se encuentra principalmente explicado por la DA (0,98), la humedad (-0,80) y la MO (-0,62), mientras que el eje 2 principalmente es explicado por la MO (-0,70). Por lo tanto, son estas tres variables ambientales las que mejor explican la distribución de los ácaros. Las mayores abundancias de Prostigmata se asocian a elevados valores de DA del suelo, mientras que las mayores abundancias de Oribatida y Mesostigmata se asocian a abundante MO.

Los dos suelos naturales son similares entre sí, presentando elevados valores de MO y humedad, y en menor medida RM y pH. A estos sitios se asocian comunidades dominadas por ácaros oribátidos y mesostigmatas. Los sitios bajo soja en siembra directa presentan altos valores de DA, y bajos de MO y humedad. La comunidad presente en ellos se caracteriza por una mayor abundancia de ácaros prostigmatas y astigmatas. Los dos sitios manejados no se asemejan entre sí como los dos sitios naturales, lo cual se asocia a las diferentes prácticas de manejo efectuadas en cada sitio.

DISCUSIÓN

Bajo cultivo de soja transgénica en siembra directa la taxocenosis de ácaros edáficos difirió de la taxocenosis que se desarrolla en suelos no manejados. Este sistema de manejo produjo una disminución de la abundancia de ácaros que habitan la hojarasca y el suelo y produjo cambios en la dominancia de los diferentes taxones.

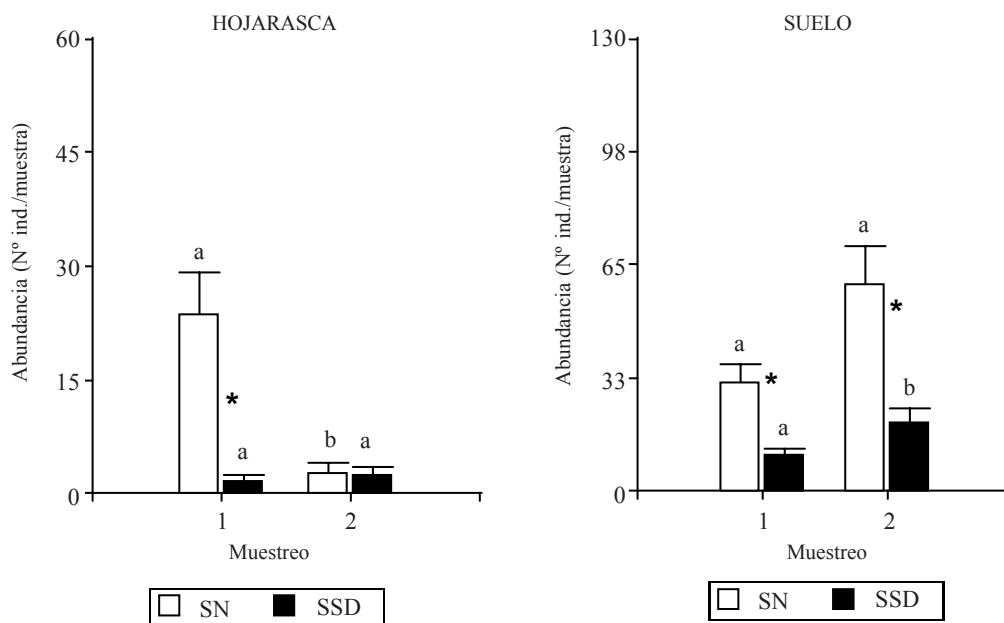


Figura 1. Abundancia de ácaros oribátidos en la hojarasca y el suelo de sitios naturales (SN) y sitios con soja en siembra directa (SSD). *= diferencias significativas entre sistemas para un mismo muestreo ($p < 0,05$); letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tiempos de muestreo dentro de un mismo sistema.

Figure 1. Abundance of oribatid mites in litter and soil from natural sites (SN) and sites with soybean under no-till (SSD). *= significant differences between systems for the same sampling ($p < 0.05$); different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between sampling times within the same system.

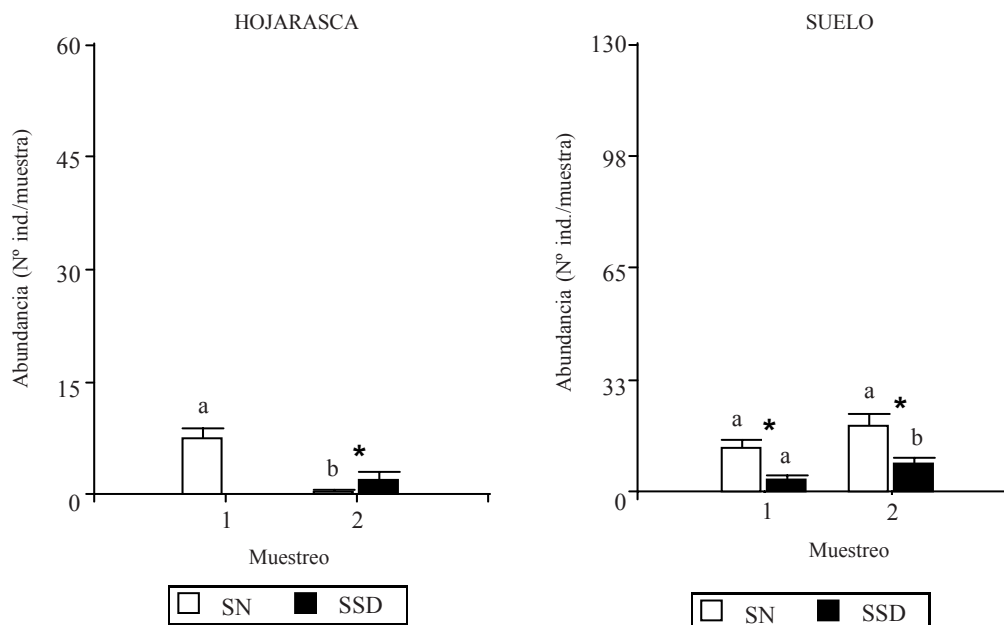


Figura 2. Abundancia de ácaros mesostigmatas en la hojarasca y el suelo de sitios naturales (SN) y sitios con soja en siembra directa (SSD). *= diferencias significativas entre sistemas para un mismo muestreo ($p < 0,05$); letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tiempos de muestreo dentro de un mismo sistema.

Figure 2. Abundance of mesostigmatid mites in litter and soil from natural sites (SN) and sites with soybean under no-till (SSD). *= significant differences between systems for the same sampling ($p < 0.05$); different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between sampling times within the same system.

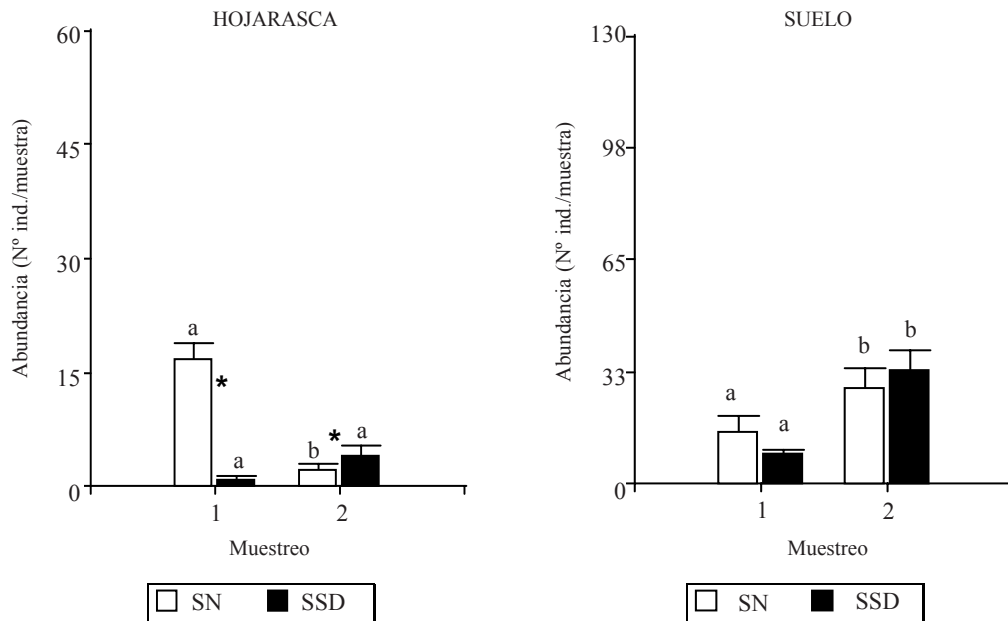


Figura 3. Abundancia de ácaros prostigmatas en la hojarasca y el suelo de sitios naturales (SN) y sitios con soja en siembra directa (SSD). *= diferencias significativas entre sistemas para un mismo muestreo ($p < 0,05$); letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tiempos de muestreo dentro de un mismo sistema.

Figure 3. Abundance of prostigmatid mites in litter and soil from natural sites (SN) and sites with soybean under no-till (SSD). *= significant differences between systems for the same sampling ($p < 0.05$); different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between sampling times within the same system.

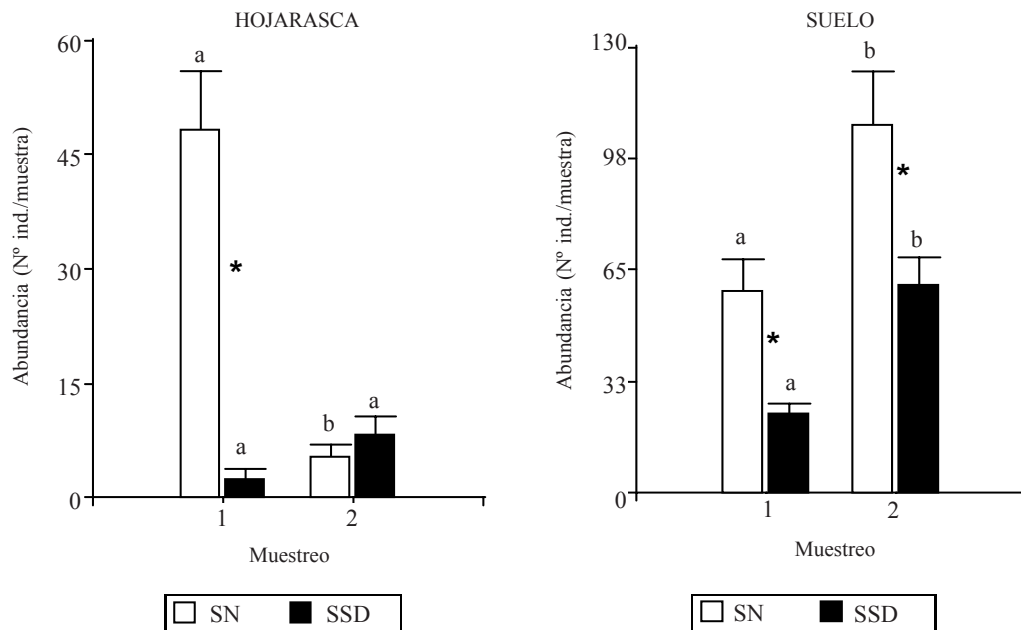


Figura 4. Abundancia total de ácaros en la hojarasca y el suelo de sitios naturales (SN) y sitios con soja en siembra directa (SSD). *= diferencias significativas entre sistemas para un mismo muestreo ($p < 0,05$); letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tiempos de muestreo dentro de un mismo sistema.

Figure 4. Total abundance of mites in litter and soil from natural sites (SN) and sites with soybean under no-till (SSD). *= significant differences between systems for the same sampling ($p < 0.05$); different letters indicate significant differences ($p < 0.05$) between sampling times within the same system.

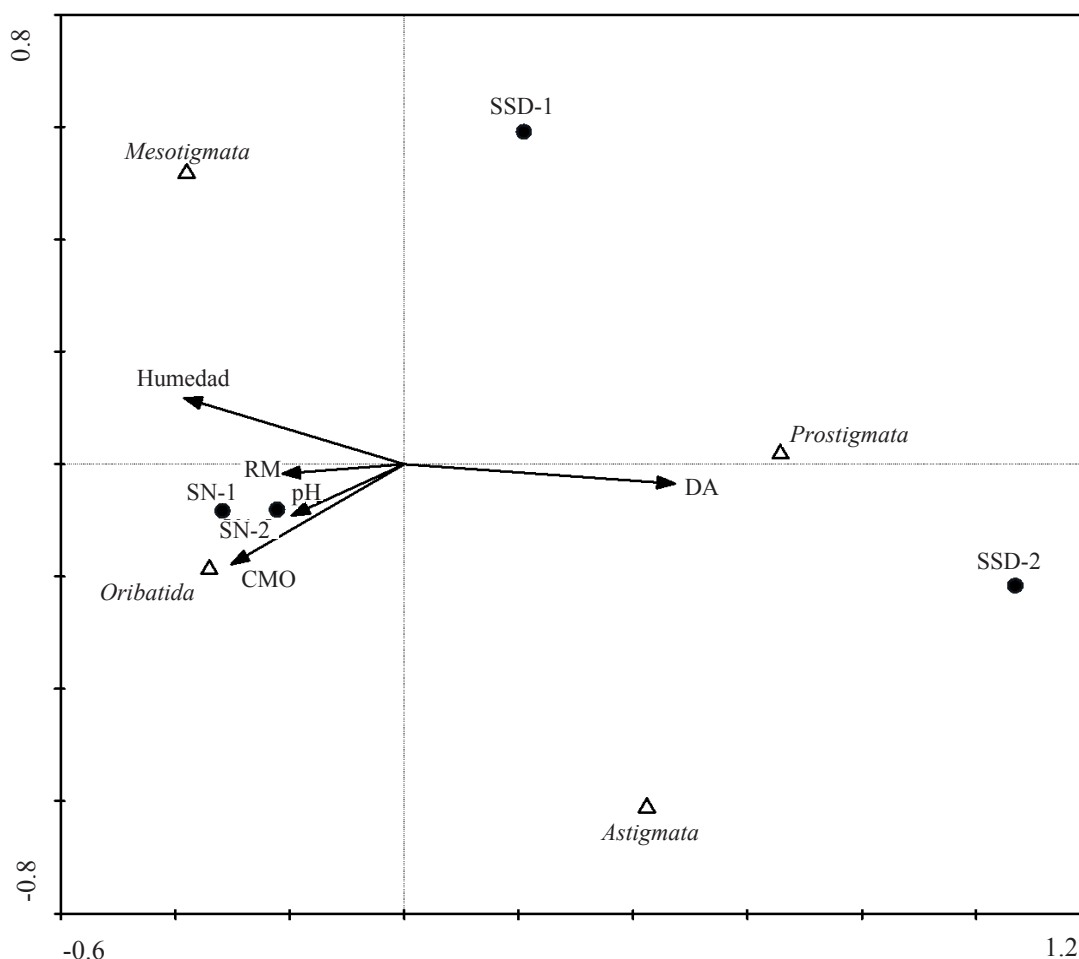


Figura 5. Análisis de Correlaciones Canónica en base a las propiedades del suelo y la comunidad de ácaros, en cada sitio de muestreo. SN: Sitio natural; SSD: Soja en siembra directa; DA: densidad aparente; RM: resistencia mecánica; CMO: materia orgánica.

Figure 5. Canonical Correlation Analysis based on soil properties and the community of mites in each sampling site. SN: Natural site; SSD: Sites with soybean under no-till; DA: Bulk density; RM: mechanical resistance; CMO: organic matter.

Las comunidades de ácaros responden a un complejo de factores incluyendo la compactación del suelo, la labranza, la biomasa vegetal superficial y subterránea y los efectos de agroquímicos (Minor *et al.*, 2004). En el presente trabajo, se sugiere que la mayor densidad aparente y el menor contenido de MO y humedad del suelo manejado, en conjunto con el efecto de los agroquímicos aplicados y el aporte significativamente menor de rastrojos por parte del cultivo de soja, son los factores que explican las diferencias encontradas en las comunidades faunísticas.

Las propiedades del suelo fueron claramente diferentes en los sitios con cultivo de soja en siembra directa comparados con los sitios naturales. En los sitios cultiva-

dos se evidencia un menor contenido de MO, una acidificación del suelo, y un aumento de la densidad aparente. Ha sido señalado que la siembra directa puede incrementar el contenido de MO del suelo (Díaz-Zorita *et al.*, 2002; Lal *et al.*, 2003), sin embargo, los sitios estudiados con aproximadamente 11 años de siembra directa continua aún distan significativamente de los SN. Esto se debería a que el monocultivo de soja produce un escaso aporte de hojarasca, que conduce a un balance de carbono negativo.

Por otra parte, la acidificación del suelo agrícola puede explicarse por la continua aplicación de fertilizantes nitrogenados que puede causar la disminución del pH debido a la reducción del mezclado mecánico del suelo

en siembra directa (Winter *et al.*, 1990). El aumento de la densidad aparente en las SSD coincide con resultados encontrados por otros autores en el ámbito nacional e internacional (Chagas *et al.*, 1994; Ferreras *et al.*, 1998; Uberto *et al.*, 2002; Miura *et al.*, 2008). Por último, se observó que en el primer muestreo los SN presentaron mayor humedad y menor resistencia mecánica que las SSD. Sin embargo, en el segundo muestreo la resistencia mecánica fue mayor en los SN, lo que se relacionaría directamente con la escasa humedad de los SN en este muestreo, principalmente debido a una mayor evapotranspiración producto de la mayor masa radical del pastizal natural comparada con la SSD. Del conjunto de propiedades del suelo evaluadas, se observa que las que afectaron en mayor medida a los ácaros fueron la MO, la DA y la humedad. Específicamente se observó una asociación positiva entre la abundancia de Oribatida y Mesostigmata y la MO y entre valores elevados de DA y la abundancia de Prostigmata. El efecto de la MO sobre los ácaros, específicamente oribátidos y mesostigmatas, ha sido puesto de manifiesto en numerosos trabajos (Bardgett & Cook, 1998; Coleman *et al.*, 2002; Bedano *et al.*, 2006). La densidad aparente suministra un indicio del impacto del manejo en los espacios porosos disponibles para los microartrópodos (Winter *et al.*, 1990). Prostigmata incluye especies con muy variados rasgos de historia de vida (Kethley, 1990), y por tanto es posible que la asociación de la abundancia de este grupo con un aumento en la DA del suelo responda a que algunos taxones son capaces de desarrollar poblaciones numerosas en suelos con cierto grado de compactación.

La diferencia observada en la cobertura vegetal del suelo, se relaciona al menor aporte de hojarasca por parte del cultivo de soja. La menor cantidad de residuos, sumada a la menor heterogeneidad de los restos vegetales provenientes de la soja, explican en parte las diferencias en los ácaros, dado que ambos factores son considerados como directores de los cambios en la composición y estructura de la biota edáfica (Standish, 2004; Wardle *et al.*, 2006). Además, las diferencias observadas en este trabajo en los ácaros que habitan la hojarasca pueden explicarse por las condiciones microambientales de la hojarasca de los sitios naturales (humedad y temperatura). La presencia de vegetación permanente y la mayor cobertura de hojarasca generan condiciones de humedad y temperatura favorables para los ácaros (Bedano *et al.*, 2005).

En el segundo muestreo, se observaron abundancias de ácaros muy bajas en la hojarasca en ambos sistemas, lo que podría deberse a la migración en profundidad de los organismos debido a las elevadas temperaturas ambientales superficiales.

Existe evidencia de que ciertos agroquímicos comúnmente usados en el cultivo de soja tienen un efecto nega-

tivo sobre los ácaros. Por ejemplo, en evaluaciones recientes se indicó que el glifosato puede causar efectos perjudiciales en artrópodos no blanco, como los ácaros (Kuiper *et al.*, 2000). Dado que en los dos lotes con SSD se aplicaron herbicidas es posible que hayan tenido influencia en la disminución de la abundancia de ácaros.

La proporción relativa de los subórdenes de ácaros cambió con el cultivo de soja en siembra directa. La comunidad de los sitios naturales estuvo dominada por oribátidos, mientras que en los sitios con manejo dominaron los prostigmatas. En general, en los sitios naturales Oribatida domina numéricamente, mientras que en sitios agrícolas, con labranza convencional y reducida, pierden importancia relativa y dominan Prostigmata y Astigmata (Bedano *et al.*, 2006). En otras partes del mundo se ha observado el mismo patrón en sitios naturales (Hermosilla & Rubio, 1974; Hermosilla *et al.*, 1977) y agrícolas (Winter *et al.*, 1990; Osler *et al.*, 2008). En suelos cultivados las densidades de Oribatida son incapaces de estabilizarse y recuperarse a niveles pre-disturbados (Behan-Pelletier, 1999). Dado que en la siembra directa no se producen importantes disturbios físicos del suelo, se esperaría que la abundancia de oribátidos sea similar a la de los sitios naturales. Sin embargo, en este trabajo no sucedió esto, lo que evidencia que la SSD afecta a los ácaros oribátidos por disturbios de otro tipo, por ejemplo la aplicación de agroquímicos y la escasez de rastrojos aportada por la soja. En resumen, en cuanto a la dominancia de los taxones de ácaros, la comunidad de los sitios de SSD es más parecida a la de los sitios labrados que a la de los sitios naturales. Se pone de manifiesto que la abundancia relativa de los cuatro subórdenes de ácaros, es un indicador de las condiciones del suelo, tal como ha sido sugerido por otros autores (Behan-Pelletier, 1999; Bedano *et al.*, 2006).

La mesofauna participa directa e indirectamente de la descomposición de los restos vegetales y el ciclado de nutrientes. En los mismos sitios que la presente investigación, Domínguez *et al.* (2010) observaron que la tasa de descomposición de restos vegetales fue menor en las SSD que en los SN. En consecuencia, se puede concluir que los cambios evidenciados en este trabajo en la comunidad de ácaros, se traducen en un efecto en los procesos del ecosistema asociados a la actividad de la fauna, específicamente la descomposición de restos vegetales.

CONCLUSIONES

Las comunidades de ácaros de los suelos cultivados con soja transgénica en siembra directa no se asemejan a las de ecosistemas naturales, sino que presentan im-

portantes cambios. Los más importantes son una disminución de la abundancia total de ácaros, de oribátidos y mesostigmatas en el suelo y en la hojarasca, y cambios en la dominancia de los taxones. Entonces, con respecto a estas características, la mesofauna de los sitios con soja en siembra directa se asemeja más a la de suelos cultivados con labranza, que a la de sitios naturales, a diferencia de lo que proponen algunos autores.

Los cambios evidenciados en las comunidades de ácaros responden a diversos factores de los sitios cultivados que los afectan directa o indirectamente, y cuyos efectos son difíciles de separar. Las variables edáficas determinantes son el aumento de la densidad aparente y la disminución del contenido de materia orgánica y humedad del suelo cultivado. A estos factores se le agregan la menor cantidad y heterogeneidad de los rastros que aporta la soja y el efecto de los agroquímicos utilizados.

La importancia de los ácaros en los sistemas de siembra directa ha sido señalada por numerosos autores. Sin embargo, en este trabajo se evidencia que, precisamente en la hojarasca y los primeros centímetros del suelo, la taxocenosis de ácaros presenta menor abundancia y cambios en la proporción relativa de los subórdenes respecto de las de los suelos naturales. A consecuencia de ello, se vería afectado el proceso de descomposición de restos vegetales y el funcionamiento del suelo.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible gracias a subsidios de SECyT (UNRC), ANPCyT (PICT N°605, PICTb- N°2175) y CONICET. Se agradece a los señores E. Morichetti y T. Malatini por permitir tomar muestras en sus campos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aizen, MA; LA Garibaldi & M Dondo. 2009. Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología Austral* 19: 45-54.
- Bardgett, RD & R Cook. 1998. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. *Appl. Soil Ecol.* 10: 263-276.
- Beck, L; JRömbke; AMBreure & C Mulder. 2005. Considerations for the use of soil ecological classification and assessment concepts in soil protection. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 62: 189-200.
- Becker, AR. 2006. Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. 800 p.
- Bedano, JC; MP Cantú & ME Doucet. 2005. Abundance of soil mites (Arachnida: Acari) in a natural soil of central Argentina. *Zoological Studies* 44: 505-512.
- Bedano, JC; MP Cantú & ME Doucet. 2006. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Appl. Soil Ecol.* 32: 293-304.
- Behan-Pelletier, VM. 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 411-423.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density. Pp. 363-375. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part I. Agron. Monog.* 9. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Bradford, JM. 1986. Penetrability. Pp. 463-478. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part I. Agron. Monog.* 9. Am. Soc. Agron.. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Casabé, N; L Piola; J Fuchs; ML Oneto; L Pamparato et al. 2007. Ecotoxicological assessment of the effects of glyphosate and chlorpyrifos in an Argentine soya field. *Journal of Soils and Sediments* 7(4): 232-239.
- Chagas, CI; HJ Marelli & OJ Santanotoglia. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 12: 11-16.
- Clapperton, MJ; DA Kanashiro & VM Behan-Pelletier. 2002. Changes in abundance and diversity of microarthropods associated with Fescue Prairie grazing regimes. *Pedobiologia* 46: 496-511.
- Coleman, D; S Fu; P. Hendrix & D Crossley, Jr. 2002. Soil foodwebs in agroecosystems: impacts of herbivory and tillage management. *Eur. J. Soil Biol.* 38: 21-28.
- Díaz-Zorita, M; GA Duarte & JH Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 65: 1-18.
- Domínguez, A; JC Bedano & AR Becker. 2010. Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. *Soil Tillage Res.* 110: 51-59.
- Doran, JW & DM Linn. 1994. Microbial ecology of conservation management systems. Pp. 1-27. In: Hatfield, JL & BA Stewart (eds.). *Soil Biology: Effects on Soil Quality. Advances in Soil Science*, Lewis Publications, Boca Raton.
- Duiker, SW & DB Beegle. 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. *Soil Tillage Res.* 88: 30-41.
- Edwards, CA & JR Lofty. 1969. The influence of agricultural practice on soil micro-arthropod populations. Pp. 237-247. In: Sheals, JG (ed.). *The Soil Ecosystem. Systematics Association Publication N° 8*, London.
- Ferreras, L; JJ De Batissta; A Ausilio & C Pecorari. 1998. Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico. *Acta XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* 23-24 p.
- Franchini, P & CL Rockett. 1996. Oribatid mites as «indicator» species for estimating the environmental impact of conventional and conservation tillage practices. *Pedobiologia* 40: 217-225.

- Hagvar, S. 1988. Decomposition studies in an easily-constructed microcosm: effects of microarthropods and varying soil pH. *Pedobiología* 31: 293-303.
- Hendrix, PF; RW Parmelee; DA Crossley Jr; DC Coleman; EP Odum & PM Groffman. 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bioscience* 36: 374-380.
- Heneghan, L & T Bolger. 1998. Soil microarthropod contribution to forest ecosystem processes: the importance of observational scale. *Plant and Soil* 205: 113-124.
- Heneghan, L; DC Coleman; X Zou; DA Crossley & BL Haines. 1999. Soil microarthropod contribution to decomposition dynamics: tropical-temperate comparisons of a single substrate. *Ecology* 80: 1873-1882.
- Hermosilla, W & I Rubio. 1974. Prospección preliminar de la fauna edáfica de la estancia El Vecino (cuenca del Salado, prov. de Bs. As., Argentina). *Physis* 33: 259-265.
- Hermosilla, W; A Reca; J Pujalte & I Rubio. 1977. Efectos de la compactación del suelo sobre la fauna edáfica en campos pastoreados (Partido de Chascomús, prov. de Bs. As., Argentina). *Physis* 36: 227-236.
- Hill, RL & RM Cruse. 1985. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1270-1273.
- Hülsmann, A & V Wolters. 1998. The effects of different tillage practices on soil mites, with particular reference to Oribatida. *Appl. Soil Ecol.* 9: 327-332.
- InfoStat, 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Jackson, ML. 1976. Análisis Químico de Suelos. Ed. Omega, S.A. Barcelona. 662 pp.
- Kethley, J. 1990. Acarina: prostigmata (Actinedida). Pp. 667-756. In: Dindal, D.L. (ed.). *Soil Biology Guide*. John Wiley & Sons, New York.
- Kladivko, EJ; DR Griffith & JV Mannering. 1986. Conservation tillage effects on soil properties and yield of corn and soybean in Indiana. *Soil Tillage Res.* 8: 277-287.
- Kladivko, EJ. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Res.* 61: 61-76.
- Krüger, HR. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 14:104-106.
- Kuiper, HA; AG Kleter & MY Noordam. 2000. Risks of the release of transgenic herbicide-resistant plants with respect to humans, animals, and the environment. *Crop Prot.* 19: 773-778.
- Lal, R; RF Follett & JM Kimble. 2003. Achieving soil carbon sequestration in the United States: a challenge to the policy makers. *Soil Sci.* 168: 827-845.
- Lindberg, N. 2003. Soil fauna and global change. Responses to experimental drought, irrigation, fertilisation and soil warming. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 37 p.
- Loring, SJ; RJ Snider & LS Robertson. 1981. The effects of three tillage practices on Collembola and Acarina populations. *Pedobiología* 22: 172-184.
- Minor, MA; TA Volk & RA Norton. 2004. Effects of site preparation techniques on communities of soil mites (Acari: Oribatida, Acari: Gamasida) under short-rotation forestry plantings in New York, USA. *Appl. Soil Ecol.* 25: 181-192.
- Miura, F; T Nakamoto; S Kaneda; S Okano; M Nakajima & T Murakami. 2008. Dynamics of soil biota at different depths under two contrasting tillage practices. *Soil Biol. Biochem.* 40: 406-414.
- Mueller, BR; MH Beare & DA Crossley. 1990. Soil mites in detrital food webs of conventional and no-tillage agroecosystems. *Pedobiología* 34: 389-401.
- Osler, GHR & AJ Beattie. 2001. Contribution of oribatid and mesostigmatid soil mites in ecologically based estimates of global species richness. *Austral Ecology* 26: 70-79.
- Osler, GHR; L Harrison; DK Kanashiro & MJ Clapperton. 2008. Soil microarthropod assemblages under different arable crop rotations in Alberta, Canada. *Appl. Soil Ecol.* 38: 71-78.
- Parisi, V. 1979. *Biología y ecología del suelo*. Editorial Blume, Barcelona. 170 pp.
- Parra, B. 2006. Efecto del uso y labranzas sobre la distribución de tamaño en poros de un Hapludol típico. Acta XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, CD. 5 pp.
- Soil Survey Staff. 1993. *Soil Survey Manual*. USDA Handbook N° 18. U.S. Government Printing Office, Washington DC. 437 pp.
- Soil Survey Staff. 2006. *Key to Soil Taxonomy*. USDA Tenth Edition. Washington DC. 341 pp.
- Southwood, TRE. 1980. *Ecological methods*. Second edition. Chapman & Hall.
- Standish, RJ. 2004. Impact of an invasive clonal herb on epigaean invertebrates in forest remnants in New Zealand. *Biol. Conserv.* 116: 49-58.
- ter Braak, CJF. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.
- ter Braak, CJF & P Smilauer. 2004. CANOCO for Windows Version 4.5.3. Trial Version. Biometrics - Plant Research International, Wageningen, The Netherlands.
- Tomlin, AD; CM Tu & JJ Miller. 1995. Response of earthworms and soil biota to agricultural practices in corn, soybean and cereal rotations. *Acta Zoologica Fennica* 196: 195-199.
- Uberto, ME; JM Cisneros; C Vignolo; C Cholaky & R Pedelini. 2002. Sistemas de labranza en Haplustoles énticos del área manisera de Córdoba (Arg.): I. Efecto sobre las propiedades físicas. Acta XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, CD. 6 pp.
- Wardle, DA. 1995. Impacts of disturbance on detritus food web in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Adv. Ecol. Res.* 26: 105-185.
- Wardle, DA; GW Yeates; GM Barker & KI Bonner. 2006. The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. *Soil Biol. Biochem.* 38: 1052-1062.
- Winter, JP; RP Voroney & DA Ainsworth. 1990. Soil microarthropods in long-term no-tillage and conventional tillage corn production. *Can. J. Soil Sci.* 70: 641-653.