

CAMBIOS EN LA COMUNIDAD DE LOMBRICES DE TIERRA (ANNELIDA: LUMBRICINA) COMO CONSECUENCIA DEL USO DE LA TÉCNICA DE SIEMBRA DIRECTA EN EL CENTRO-SUR DE CÓRDOBA, ARGENTINA

ANAHÍ DOMÍNGUEZ; JOSÉ CAMILO BEDANO & ANALÍA ROSA BECKER

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. Correo electrónico: adominguez@exa.unrc.edu.ar

Recibido: 29-06-08

Aceptado: 08-01-09

RESUMEN

La siembra directa (SD) ha sido reconocida como una alternativa de menor impacto ambiental que otros sistemas de cultivo. Sin embargo, algunos autores alertan que puede generar degradación de algunas propiedades del suelo, siendo las lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina) buenas indicadoras por su capacidad de integrar en su respuesta a los manejos el conjunto de factores de estrés. El objetivo de este trabajo fue evaluar el cambio de las comunidades de lombrices de tierra y de algunas propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas en suelos con SD en relación a pastizales naturales (PN), en la cuenca Gral. Deheza, Córdoba. Las lombrices de tierra se obtuvieron según el método del programa TSBF. Se observó un aumento de la compactación y una disminución en el contenido de materia orgánica (MO) y del pH en los sitios con SD con respecto a los PN. La comunidad de Lumbricina estuvo dominada por lombrices endogeas, claves en los procesos edáficos al modificar tanto aspectos químicos como físicos del suelo. En SD disminuyó la población de Lumbricina de una media de 297 ind m⁻² a 70 ind m⁻² con respecto a los PN y aumentó la proporción de individuos en diapausa y juveniles. Esto se explica principalmente por la mayor compactación y el menor contenido de MO. El aumento de organismos juveniles y en diapausa también podría estar asociado a la influencia negativa del intenso uso de agrotóxicos. Se concluye que en la región estudiada, los suelos bajo SD estarían comprometidos en el cumplimiento de las «funciones ecosistémicas» que son la base de su calidad. Se plantea el interrogante sobre la sustentabilidad a largo plazo de esta práctica agrícola.

Palabras clave. Macrofauna edáfica, Ingenieros del ecosistema, Manejo, Calidad del suelo.

CHANGES IN THE EARTHWORM COMMUNITY (ANNELIDA: LUMBRICINA) AS A CONSEQUENCE OF NO-TILLAGE IN THE SOUTH-CENTRAL REGION OF CORDOBA, ARGENTINA

ABSTRACT

No-till has been recognized as a low environmental impact management in relation to other crop systems. However, it has been suggested that no-till may produce degradation of several soil properties. The earthworm (Annelida: Lumbricina) community is a good indicator of soil quality, especially because they integrate all possible stress factors. So, the aim of this study was to evaluate the changes on the earthworm community and on several physical, chemical and physicochemical soil properties in soils under no-till in relation to natural grasslands. The study was carried out in Gral. Deheza basin, Córdoba. The earthworms were sampled by means of the TSBF program method. It was observed an increase in compaction and a decrease in organic matter content and in pH values in no-till sites in relation to natural sites. Lumbricina community was dominated by endogeic earthworms. This is especially significant because the key role they play in edaphic processes since they modify both chemical and physical soil properties. It was found a clear decrease in Lumbricina abundance from a mean of 297 ind m⁻² in natural sites to 70 ind m⁻² in no-till and an increase in juveniles and diapause organisms in no-till in relation to the natural sites. These results were explained mainly by the high compaction and the low organic matter content. Furthermore, the possible negative influence of an intense use of agrotoxics, mainly associated to the increase in the number of juveniles and diapause organisms, is considered. It is concluded that in the studied region, soils would be threatened in relation to the maintaining of ecosystem functions which are the base of soil quality. The question arises about long-term sustainability of this crop system.

Key words. Soil macrofauna, Ecosystem engineers, Management, Soil Quality.

INTRODUCCIÓN

El concepto de calidad del suelo más aceptado actualmente hace hincapié en las funciones del suelo que son relevantes para la humanidad y en las cuales la biota edáfica juega un rol esencial (Bardgett & Chan, 1999). Desde un punto de vista ecológico, la evaluación de la calidad del suelo como hábitat para la fauna edáfica integraría los efectos de todos los posibles factores de estrés (Römbke *et al.*, 2005). Especialmente, se observa que la abundancia y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados son indicadores válidos por reflejar también los restantes aspectos que contribuyen a la calidad del suelo (Velásquez *et al.*, 2007). El suelo es un recurso crítico no sólo para la producción agrícola y la soberanía alimentaria, sino para el mantenimiento de la mayoría de los procesos de la vida y de la calidad ambiental local, regional y global (Doran & Zeiss, 2000). Dado su inquietante grado de degradación y la alarmante reducción en la biodiversidad que sustenta sus funciones vitales, es importante priorizar la identificación e implementación de prácticas sustentables de uso de la tierra; al mismo tiempo que se desarrollan rápidamente sistemas de monitoreo de calidad del suelo (Velásquez *et al.*, 2007). En este contexto, resulta especialmente interesante analizar el efecto que la siembra directa, práctica ampliamente difundida en la Argentina, pueda tener sobre la calidad biológica del suelo. Especialmente, en la provincia de Córdoba el cultivo de soja bajo siembra directa representa entre un 80 a un 85% del área cultivada con granos (SAGPyA, 2007) y por lo tanto los sistemas de rotaciones presentan una tendencia al monocultivo de esta especie. Ello ha generado procesos de erosión y degradación física, química y biológica de los suelos (Cantú *et al.*, 2001; Becker, 2006; Bedano *et al.*, 2006) que pueden verse incrementados por las características naturales de los suelos en dicha región, como bajo contenido de materia orgánica y de arcilla (Cantú, 1998; Cantú & Becker, 1999).

Las lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina) forman parte de la macrofauna (organismos mayores a 2 mm), y son las principales representantes del gremio funcional «ingenieros del ecosistema» (Lavelle, 1997; Jiménez *et al.*, 2001a). Este gremio involucra organismos capaces de modificar el ambiente edáfico a través de sus actividades mecánicas (Lavelle, 1997) al mismo tiempo que producen estructuras físicas a través de las cuales pueden modificar la disponibilidad o accesibilidad de un recurso para otros organismos, (Lavelle *et al.*, 1994; Kladvko, 2001). Su importancia estriba no sólo en el efecto directo sobre el suelo sino también en ser importantes reguladores de la actividad microbiana (Coleman *et al.*, 2004). Estas son algunas de las características de las lombrices de tierra que las han constituido en uno de

los grupos más apropiados para evaluar la calidad del suelo, conjuntamente con su alta sensibilidad a los cambios en el entorno edáfico (Edwards & Bohlen, 1996). Debe señalarse además, que el efecto de las lombrices de tierra sobre el suelo varía en función de los distintos grupos ecológicos. Se pueden diferenciar tres categorías, definidas por Bouché (1971, 1977 en Edwards & Bohlen, 1996) y utilizadas luego por numerosos investigadores (Lavelle *et al.*, 1994; Fragoso *et al.*, 1997; Paoletti, 1999; Chan, 2001; Römbke *et al.*, 2005): las lombrices epigeas son habitantes de la hojarasca y no ingieren suelo mineral, las anécicas son cavadoras verticales y se alimentan en la superficie del suelo incorporando material vegetal en éste y las lombrices endogeas son habitantes del suelo mineral y estrictamente geófagas.

La labranza reducida y la siembra directa (labranza química) son en general consideradas menos agresivas para las poblaciones de Lumbricina. Pueden señalarse numerosos estudios que indican mayores densidades de lombrices de tierra con respecto al sistema convencional de manejo (Lee, 1985; Mackay & Kladvko, 1985; Lee & Pankhurst, 1992; Kladvko *et al.*, 1997; Paoletti, 1999; Kladvko, 2001; Johnson-Maynard *et al.*, 2007). Este fenómeno se explica considerando que no se produce un daño mecánico directo, el contenido de humedad del suelo es mayor y se conserva una capa superficial de material vegetal necesaria para la presencia de especies epigeas (Chan, 2001). Por otra parte, si bien la abundancia de Lumbricina hallada en los sistemas de siembra directa es mayor que la de los sistemas convencionales, es menor que la de pasturas permanentes cercanas (Springett, 1992).

En este marco, el objetivo de este trabajo fue evaluar el cambio de las comunidades de lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina) y de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo como consecuencia del uso de la técnica de siembra directa, así como también analizar la relación existente entre ambos aspectos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La presente investigación se realizó en la cuenca de llanura Gral. Deheza, ubicada al oeste de las localidades de Gral. Deheza y Gral. Cabrera, provincia de Córdoba. En ella afloran sedimentos loésicos en los que se desarrollan Haplustoles de bajo desarrollo. El área presenta un clima templado subhúmedo con una estación seca muy marcada en invierno. La vegetación natural corresponde a la Estepa Graminosa (Bianco *et al.*, 1987), pero sólo quedan pequeños núcleos restringidos a los márgenes de los caminos, en cárcavas de gran desarrollo y en potreros abandonados

por procesos erosivos importantes. El uso histórico del suelo ha sido predominantemente agrícola (con ganadería subordinada) con un período prolongado donde el principal cultivo fue el maíz, actualmente reemplazado por soja y en menor proporción por maíz y trigo.

Caracterización de los sitios de muestreo

El trabajo se realizó en sitios agrícolas bajo siembra directa y pastizales naturales utilizados como situación de referencia. Cada situación de uso del suelo estuvo representada por dos réplicas reales, constituyendo un total de cuatro sitios: Pastizal Natural 1 (PN1), Pastizal Natural 2 (PN2), Siembra Directa 1 (SD1) y Siembra Directa 2 (SD2). En los pastizales naturales no hubo ningún tipo de intervención antrópica. Es importante señalar que el PN1 presenta mayor tiempo de inalterabilidad (aproximadamente 100 años) y mayor proporción de especies vegetales autóctonas que el PN2. En el caso de los suelos bajo cultivo, la SD1 lleva 16 años de uso exclusivamente agrícola, de los cuales 12 fueron con utilización continua de siembra directa. Desde la temporada 2001/2002 se realiza un año con 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, con aplicación de fertilizantes y herbicidas (glifosato y met-sulfurón), el cual fue cosechado a principios de diciembre y posteriormente se sembró soja de segunda. La SD2 lleva 25 años de uso exclusivamente agrícola, con introducción de la siembra directa hace 10 años, de los cuales los últimos 6 fueron de aplicación continua de esta práctica. 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 y se mantuvo el suelo en barbecho, con rastrojo de soja de la temporada anterior. Previo a la siembra se aplicaron fertilizantes y herbicidas (dicamba, 2,4-D amina y glifosato); se sembró soja a principios de diciembre. En estos sitios el muestreo fue realizado a fines del invierno, entre el 30/08/2007 y el 06/09/2007, se destaca que no se registraron precipitaciones en el mes previo.

Caracterización del suelo.

Propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas

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

En cada sitio de estudio y en cada muestreo se evaluaron las siguientes propiedades: contenido de materia orgánica, pH, densidad aparente, porcentaje de humedad y resistencia mecánica. Para determinar las propiedades químicas y fisicoquímicas se tomaron tres muestras de suelo en un diseño al azar en forma de zigzag. El contenido de materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black modificado (Jackson, 1976) y el pH por el método potenciométrico, relación suelo-agua 1:2,5. La determinación de las propiedades físicas se efectuó también con tres repeticiones al azar en cada sitio. La densidad aparente se determinó por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986) y la resistencia mecánica se determinó con un penetrómetro de impacto (CN-970, Soil Test Inc., Lake Bluff, Illinois) accionado en forma manual (Bradford,

1986) hasta los 30 cm y en los sitios agrícolas la medición se realizó en el surco y entresurco.

Lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina)

Se empleó la metodología clásica del programa TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility program) descrita por Anderson & Ingram (1993). La misma consiste en la obtención de 5 muestras de suelo (monolitos), ubicadas a lo largo de una transecta con origen y dirección aleatoria mediante la utilización de un marco metálico de 25 x 25 x 30 cm. Dicho monolito fue separado a campo en cuatro capas: hojarasca, 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Cada una de estas capas fue llevada al laboratorio para la revisión y colecta manual de las lombrices de tierra. Se procedió luego al recuento y preservación de los ejemplares colectados y posteriormente se realizó la identificación taxonómica bajo lupa binocular mediante el uso de claves taxonómicas (Mischis, 1991). El ordenamiento taxonómico se realizó según Reynolds & Cook, 1993 (en Edwards & Bohlen, 1996).

En caso de no ser posible la resolución taxonómica al nivel de género o especie, se utilizó el concepto de morfoespecie para definir, en función de diferencias morfológicas conspicuas, la menor unidad taxonómica utilizada luego para la caracterización de las comunidades. También se clasificó a la comunidad de Lumbricina según los grupos ecológicos (endogeas, epigeas y anécicas) descriptos por Fragoso (1992), Lavelle *et al.* (1994), Edwards & Bohlen (1996) y Fragoso *et al.* (1997).

Análisis Estadístico

En primer lugar se realizó la prueba de Shapiro-Wilk modificada (Rahman & Govindarajulu, 1997) para evaluar la distribución de cada variable. Cuando la misma no resultó normal, la variable fue transformada o se optó por realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952). Las comparaciones de Lumbricina y de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo entre los sitios de muestreo, se realizaron mediante una prueba T para muestras independientes (Sokal & Rohlf, 1995). Se realizó un análisis de correlación de Pearson (Sokal & Rohlf, 1995) para evaluar las relaciones entre Lumbricina y las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat (Universidad Nacional de Córdoba, 2008).

RESULTADOS

Caracterización del suelo. Propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas

El suelo de los sitios estudiados corresponde a Ha-plustol típico limoso grueso, illítico, térmico. Los datos correspondientes a las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo y su análisis estadístico se presentan en la Tabla 1. La densidad aparente del horizonte superficial resultó significativamente superior en la siembra directa con respecto al pastizal natural, mientras que la densidad aparente del horizonte B no estuvo afectada

Tabla 1. Propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo en pastizales naturales (PN) y sitios bajo siembra directa (SD) en la cuenca Gral. Deheza, Córdoba.

Table 1. Physical, chemical and physicochemical soil properties in natural grasslands (PN) and no-till (SD) in Gral. Deheza, Córdoba.

	PN1	PN2	SD1	SD2	p
Densidad aparente (g/cm ³) horizonte superficial	1,24	1,22	1,26	1,43	0,0198
Densidad aparente (g/cm ³) horizonte B	1,32	1,41	1,25	1,46	0,1797(*)
Resistencia Mecánica (Mpa) 0-10 cm	4,44	9,07	9,25	5,11	0,4092
Resistencia Mecánica (Mpa) 10-20 cm	4,02	9,02	11,1	7,32	0,0129
Resistencia Mecánica (Mpa) 20-30 cm	2,81	3,67	7,69	5,59	0,0001
% Humedad horizonte superficial	18,0	21,4	13,7	7,81	0,0017
% Humedad horizonte B	16,2	14,1	14,2	11,7	0,0121
% Materia Orgánica horizonte superficial	3,87	3,53	2,08	2,89	0,0019
% Materia Orgánica horizonte B	2,17	0,85	0,94	1,36	0,1636
pH horizonte superficial	6,06	7,24	6,03	6,09	0,0417
pH horizonte B	6,36	7,47	6,04	6,04	0,0085

Se presentan los valores de p de la prueba t (excepto (*): prueba de Kruskal-Wallis) contrastando ambos sistemas.

p value of T test are shown (except (*): Kruskal-Wallis test) contrasting both systems.

significativamente por el tipo de uso del suelo. La resistencia mecánica para 10-20 cm y 20-30 cm de profundidad resultó significativamente superior para los sitios bajo siembra directa en relación con los sitios naturales. El contenido de humedad y el pH de ambos horizontes resultaron mayores para los sistemas naturales con respecto a los cultivados; el contenido de materia orgánica del horizonte superficial también fue significativamente superior en los sitios naturales, mientras que no se detectaron diferencias significativas para el horizonte B.

Lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina)

En la Tabla 2 se presenta la abundancia de las especies y morfoespecies determinadas de Lumbricina para

cada sitio evaluado. La densidad total resultó significativamente mayor ($p=0,0001$) para los sitios naturales con respecto a los sitios bajo siembra directa. En los sitios bajo siembra directa el total de individuos recolectados se encontró en estado de diapausa con construcción de una cámara de estivación y enrollamiento en ella, mientras que este patrón no se halló en los sitios naturales. Por otra parte, se encontró una mayor proporción de individuos juveniles en los sitios agrícolas con respecto a los sitios naturales, donde predominaron los individuos subadultos y adultos. Con respecto a las categorías ecológicas, se encontró sólo una especie epigea, *Eisenia foetida*, presente únicamente en el PN2. Las otras dos especies que pudieron identificarse *Aporrectodea rosea* (presente en PN2) y *Microscolex dubius* (sólo en SD2) fueron carac-

Tabla 2. Abundancia de Lumbricina (individuos m⁻²) en pastizales naturales (PN) y sitios bajo siembra directa (SD) en la cuenca Gral. Deheza, Córdoba.

Table 2. Lumbricina abundance (organisms m⁻²) in natural grasslands (PN) and no-till (SD) in Gral Deheza, Córdoba.

Familia	Morfoespecie/Especie	PN 1	PN 2	SD 1	SD 2
Glossoscolecidae	Glossoscolecidae sp.	134	0	0	0
Acanthodrilidae	Acanthodrilidae? sp.	48	3	0	0
Acanthodrilidae	<i>Microscolex dubius</i>	0	0	0	3
Lumbricidae	<i>Eisenia foetida</i>	0	22	0	0
Lumbricidae	<i>Aporrectodea rosea</i>	0	35	0	0
	Individuos Aclitelados	208	144	74	64
Total Lumbricina		390	205	74	67

terizadas como especies endógenas. Además, se hallaron dos morfoespecies: *Glossoscolecidae* sp. (PN1 Agosto) y *Acanthodrilidae*? sp. (PN1 y PN2) y numerosos individuos aclitelados (para todos los sitios) que también fueron caracterizadas exomorfológicamente como especies endógenas. La abundancia de Lumbricina se correlacionó de forma positiva (Fig. 1) con el contenido de materia orgánica ($p < 0,05$). La relación entre la abundancia de Lumbricina y la densidad aparente del horizonte superficial resultó no lineal (Fig. 2).

DISCUSIÓN

El efecto de la siembra directa sobre las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas resultó particularmente significativo en el caso de las propiedades del horizonte superficial. Se hallaron valores elevados de densidad aparente en los sitios cultivados, con medias significativamente superiores respecto a los sitios naturales. Estos valores indican un alto nivel de compactación que ha sido señalado en la región centro-sur de Córdoba para este sistema de labranza (Uberto *et al.*, 2002; Becker, 2006; Parra *et al.*, 2007). Los valores de pH y el porcentaje de materia orgánica resultaron menores en la siembra directa en comparación con los pastizales. Esta disminución en los valores de ambas propiedades ha sido también observada por otros autores (*e.g.* Six *et al.*, 1999; Musso *et al.*, 2004; Musso *et al.*, 2006). El porcentaje de humedad del horizonte superficial fue menor para los sitios agrí-

colas en comparación a los sitios naturales. Asociado a ello la resistencia mecánica del horizonte superficial presentó valores más altos en los sitios cultivados que en los sitios naturales; esta relación entre ambos parámetros ha sido descrita por otros autores (Gupta & Allmaras, 1987; Taboada *et al.*, 1998; Uberto *et al.*, 2002; Becker, 2006).

Las densidades de Lumbricina halladas en los sitios naturales son similares a las encontradas por otros autores. En el caso de trabajos regionales, Momo *et al.* (1993) hallaron densidades similares a las de este trabajo en suelos representativos de la estepa herbácea (275 individuos/m²). Sin embargo, Momo *et al.* (2003) hallaron densidades considerablemente menores tanto en campos naturales como en suelos vírgenes forestados (57 y 44 individuos/m², respectivamente). En otras regiones del mundo, Bardgett & Cook (1998) señalaron densidades del orden de los 400-500 individuos por metro cuadrado en pastizales y Brown *et al.* (2004) estudiaron pasturas nativas en México y hallaron densidades de 277 para la estación húmeda y de 92 para la estación seca.

La densidad para los sitios bajo siembra directa es considerablemente menor que la citada por algunos investigadores, por ejemplo, Springett (1992) halló densidades de 434 a 499 individuos m⁻² y Johnson-Maynard *et al.* (2007) encontraron densidades entre 62 a 110 individuos m⁻². Sin embargo, los valores encontrados en este estudio coinciden aproximadamente con los hallados por otros autores (*e.g.* Edwards & Lofty, 1982; Mackay & Kladvko, 1985; Benito *et al.*, 2003).

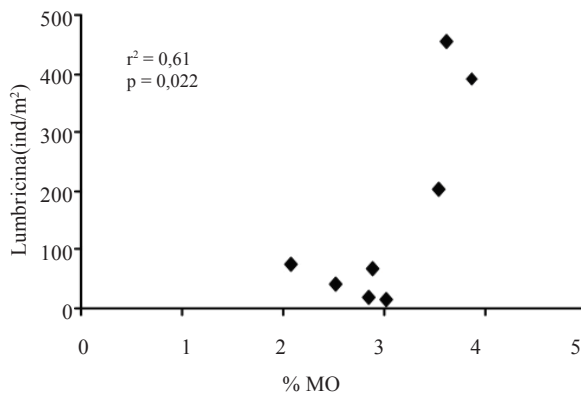


Figura 1. Correlación de la abundancia de Lumbricina con el porcentaje de materia orgánica del suelo. r^2 : coeficiente de correlación de Pearson.

Figure 1. Lumbricina abundance correlation with organic matter content. r^2 : Pearson correlation coefficient.

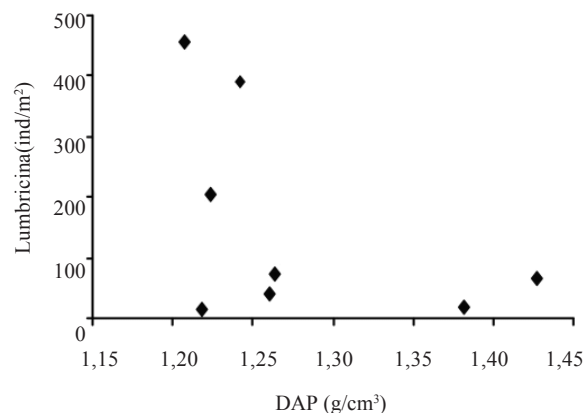


Figura 2. Gráfico de dispersión de la abundancia de Lumbricina con respecto a los valores de densidad aparente (DAP).

Figure 2. Scatterplot of Lumbricina abundance in relation to bulk density values (DAP).

El efecto de esta práctica agrícola tal como se la utiliza en esta región sobre la abundancia de Lumbricina, puede deberse en parte a los efectos que la siembra directa tiene sobre las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo. Se halló una correlación positiva entre la abundancia de Lumbricina y el contenido de materia orgánica del horizonte superficial; esta propiedad ha sido señalada como uno de los elementos claves para conformar ambientes favorables para el desarrollo de Lumbricina (Fragoso *et al.*, 1993; Chan & Barchia, 2007).

Por otra parte, la relación entre la densidad aparente del horizonte superficial y la abundancia de Lumbricina parece responder a un efecto umbral, en donde la densidad aparente no afecta la abundancia de Lumbricina en el rango 1,21-1,26 g cm⁻³, pero a partir de 1,38 g cm⁻³ se produciría una abrupta disminución en la abundancia de Lumbricina. La importancia de la compactación como factor determinante para el desarrollo y mantenimiento de las comunidades de Lumbricina ha sido resaltada por numerosos autores, particularmente en el caso de las especies endógeas que son el grupo predominante en los sitios estudiados (Wyss *et al.*, 1992; Chan, 2001; Chan & Barchia, 2007).

La predominancia de especies endógeas es interesante por el rol que juegan en los procesos edáficos al ingerir grandes cantidades de partículas orgánicas y minerales, formar luego bioagregados, construir extensas galerías a través de los horizontes del suelo y establecer relaciones mutualistas con la microflora del suelo en sus intestinos (Fragoso *et al.*, 1997), acelerando las tasas de mineralización y la disponibilidad de agua y nutrientes (Brown *et al.*, 2004). De allí que la reducción de la abundancia de estas especies en los sitios cultivados que se evaluaron puede llevar a cambios drásticos, puesto que regulan muchos procesos físicos y químicos del suelo a corto, mediano y largo plazo (Fragoso *et al.*, 1997).

Otro aspecto relevante a tener en cuenta es el nivel de actividad de los organismos encontrados, ya que de ello depende su efecto sobre las propiedades edáficas. En este estudio, además del bajo número de individuos encontrados en los sitios agrícolas, se halló una importante proporción de éstos en diapausa, con construcción de una cámara de estivación y enrollamiento en ella. La diapausa está relacionada a factores tales como compactación y contenido de humedad del suelo (Edwards & Bohlen, 1996; Jiménez *et al.*, 2001b; Jiménez *et al.*, 2001c) elementos que pudieron haber sido determinantes en el caso de los sitios naturales y agrícolas, dadas las escasas precipitaciones ocurridas en los meses previos al muestreo. A lo anterior se suma que en los sitios agrícolas los individuos presentaron un grado de desarrollo menor, siendo casi en su totalidad juveniles, mientras que en los sitios natura-

les se hallaron principalmente adultos y subadultos. La disminución de la actividad y el retardo en el crecimiento y la maduración pueden deberse también a la utilización de distintos agrotóxicos (Edwards & Bohlen, 1996) entre ellos el glifosato (Paldy *et al.*, 1988; Cox, 2000) que fue utilizado ampliamente en los sitios agrícolas evaluados.

El presente trabajo muestra que la comunidad de lombrices de tierra es una buena indicadora del impacto que provoca la siembra directa sobre el sistema suelo, integrando el efecto de la misma tanto en lo que respecta a propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas como a la aplicación de agrotóxicos. Se evidencian entonces los profundos cambios en la calidad edáfica asociados a la implementación de la siembra directa en los sitios estudiados, a pesar de que numerosos autores han destacado la importancia de este sistema de manejo como práctica conservacionista, menos agresiva para las comunidades biológicas (Mackay & Kladivko, 1985; Lee & Pankhurst, 1992; Kladivko *et al.*, 1997; Paoletti, 1999; Johnson-Maynard *et al.*, 2007). La significativa disminución en la abundancia, actividad y maduración de Lumbricina implica una seria problemática en lo que respecta a la realización y mantenimiento de las funciones vitales del suelo bajo siembra directa, por ser esta una práctica que requiere de la fauna edáfica como elemento vital para el cumplimiento de procesos tales como la incorporación de la materia orgánica al perfil edáfico y del mantenimiento de buenas condiciones físicas del suelo, al no existir una labranza mecánica que pudiera favorecer el desarrollo de estos procesos (Kladivko, 2001).

CONCLUSIONES

La utilización de los suelos con fines agrícolas conlleva necesariamente la modificación de sus aspectos físicos, químicos y biológicos. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la siembra directa, pese a ser considerada una alternativa de manejo de bajo impacto, en la región estudiada tiene importantes efectos sobre las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo y sobre las lombrices de tierra.

La siembra directa, en relación a los sitios de referencia, disminuye el pH, reduce el contenido de materia orgánica y aumenta la compactación del suelo. La modificación producida sobre estas propiedades genera cambios en el ambiente edáfico que lo vuelven menos favorable para el desarrollo de las lombrices de tierra, cuya abundancia, actividad y madurez se ven seriamente disminuidas.

La siembra directa requiere de los ingenieros del ecosistema como responsables casi exclusivos de la incorporación y descomposición de la materia orgánica, de la estimulación de la actividad microbiana y del mantenimiento de la porosidad e infiltración. Sin embargo, estos organismos se ven afectados por los cambios que este manejo genera en las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del suelo, y posiblemente también por los altos niveles de uso de agrotóxicos, y su densidad y actividad disminuye de modo tal que su influencia en el ambiente edáfico es prácticamente nula. De este modo, en los sitios bajo siembra directa estudiados, el suelo estaría comprometido en lo que respecta al cumplimiento de las llamadas «funciones ecosistémicas» que son la base del concepto de calidad del suelo.

Dado que la siembra directa es la práctica agrícola más difundida en la Argentina se plantea el interrogante de si la misma es o no una actividad sustentable en el largo plazo, en función de su impacto sobre la calidad edáfica.

Finalmente, se resalta la necesidad de avanzar en el conocimiento del impacto producido por los diversos sistemas agrícolas implementados en la Argentina sobre la calidad física, química y biológica de los suelos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a SECyT (UNRC), ANPCyT (PICTR-03 N°439) y CONICET por los aportes que hicieron posible la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Anderson, JM & JSI, Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods, Second edition. CAB International. Wallingford, UK.
- Bardgett, RD & R Cook. 1998. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. *Applied Soil Ecology* 10: 263-276.
- Bardgett, RD & KF Chan. 1999. Experimental evidence that soil fauna enhance nutrient mineralization and plant nutrient uptake in montaine grassland ecosystems. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1007-1014.
- Becker, A. 2006. Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca de la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, UNRC. 800 p.
- Bedano, JC; MP Cantu & ME Doucet. 2006. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology* 32: 293-304.
- Benito, NP; M de F Guimaraes & A Pasini. 2003. Influencia de sistemas de cultivo sobre a macrofauna invertebrada do solo. *En: O uso da macrofauna edáfica na agricultura do século XXI: a importancia dos engenheiros do solo.* Workshop Diciembre 2003, Londrina.
- Bianco, CA; TA Krauss; DL Anderson & JJ Cantero. 1987. Formaciones vegetales del suroeste de la provincia de Córdoba (República Argentina). *Revista UNRC* 7(1): 5-66.
- Blake GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density. *In: A Klutr (ed.) Methods of soil Analisis. Part 1. Agron. Monog. 9. Am. Soc. Agron.* Madison, Wisconsin, EE.UU. 363-375.
- Bradford, JM. 1986. Penetrability. *In: A Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. Agron. Monog. 9. Am. Soc. Agron..* Madison, Wisconsin, EEUU. pp 463-478.
- Brown, GG; AG Moreno; I Barois; C Frago; P Rojas; B Hernandez & JC Patrón. 2004. Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 313-327.
- Cantú, MP. 1998. Estudio Geocientífico para la Evaluación Ambiental y Ordenación Territorial de una Cuenca Pedemontana, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral, UNRC. 376 p.
- Cantú, MP & AR Becker. 1999. El impacto del uso intensivo de la tierra en áreas templadas del centro de la República Argentina. I Conferencia Científica Internacional Medio Ambiente Siglo 21, Cuba. CD. 7 páginas.
- Cantú, MP; AR Becker; JC Bedano & HF Schiavo. 2001. Indicadores e índices de degradación de suelos en la región central templada húmeda de Argentina. *Acta XV Cong. Lat. Ciencia del Suelo.* CD 4 p.
- Chan, KY. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soils. *Soil & Tillage Research* 57: 179-191.
- Chan KY & I Barchia. 2007. Soil compaction controls the abundance, biomass and distribution of earthworms in a single dairy farm in south-eastern Australia. *Soil & Tillage Research* 94: 75-82.
- Coleman, DC; DA Crossley & PF Hendrix. 2004. Fundamentals of Soil Ecology. Second Edition. Elsevier Academic Press. USA.
- Cox, C. 2000. Herbicide Factsheet: Glyphosate (Roundup). *Journal of Pesticide Reform* 18(3). Actualizado Octubre 2000, disponible en www.pesticide.org/gly.pdf.
- Doran, JW & MR Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3-11.
- Edwards CA & PJ Bohlen. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. Third edition. Chapman & Hall. London, UK.
- Edwards, CA & JR Lofty. 1982. The effects of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. *Journal of Applied Ecology* 19: 723-734.
- Fragoso, C. 1992. Las lombrices terrestres de la selva Lacandona: Sistemática, Ecología y potencial práctico. *En: Reserva de la Biosfera Montes Azules, selva Lacandona: Investigación para su conservación.* Vásquez Sánchez, MA & MA Ramos Olmos (eds.) Publicaciones Especiales Ecosfera N° 1. Centro de Estudios para la Conservación de los recursos Naturales, A.C.

- Fragoso, C; I Barois; C González; C Arteaga & JC Patrón. 1993. Relationship between earthworms and soil organic matter levels in natural and managed ecosystems in the Mexican tropics. *In: Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. Mulongoy, K & R. Merckx (eds.) IITA/K.U. Leuven.
- Fragoso, C; GG Brown; JC Patrón; E Blanchart; P Lavelle; B Pashanasi; B Senapati & T Kumar. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology* 6: 17-35.
- Gupta, SC & RR Allmaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Sci.* 6: 65-100.
- Jackson, ML. 1976. Análisis Químico de Suelos. *Ed. Omega, S.A.* Barcelona. 662 p.
- Jimenez, JJ; T Decaëns; RJ Thomas & P Lavelle. 2001a. Chapter 1: Soil Macrofauna: An available but little-known natural resource. *In: Jimenez, JJ & RJ Thomas (eds.) Nature's plow: soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia*. *Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical*. Cali,
- Jimenez, JJ; AG Moreno; P Lavelle & T Decaëns. 2001b. Chapter 5: population dynamics and adaptive strategies of *Martiodrilus carimaguensis (Oligochaeta: Glossoscolecidae)*, a native species from the well-drained savannas of Colombia. *In: Jimenez, JJ & RJ Thomas (eds.) Nature's plow: soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia*. *Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical*. Cali, Colombia.
- Jimenez, JJ; GG Brown; T Decaëns; A Feijoo & P Lavelle. 2001c. Chapter 9: Differences in the timing of diapause and patterns of aestivation in tropical earthworms. *In: Jimenez, JJ & RJ Thomas (eds.) Nature's plow: soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia*. *Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical*. Cali, Colombia.
- Johnson-Maynard, JL; KJ Umiker & SO Guy. 2007. Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil & Tillage Research* 94: 338-345.
- Kladivko, EJ; NM Akhouri & G Weesies. 1997. Earthworm populations and species distributions under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois. *Soil. Biol. Biochem.* 29(3-4): 613-615.
- Kladivko, EJ. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research* 61: 61-76.
- Kruskal, WH & WA Wallis. 1952. Use of ranks on one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47: 583-621.
- Lavelle, P; M Dangerfield; C Fragoso; V Eschenbrenner; D López-Hernández; B Pashanasi & L Brussaard. 1994. Chapter 6: The relationship between soil macrofauna and tropical fertility. *In: The Biological management of tropical Soil Fertility*. Wooster, PL & MJ Swift eds. TSBF. A Wiley-Sayce Publication.
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research* 27: 93-102.
- Lee, KE. 1985. Earthworms: their ecology and relationships with soil and land use. Academic Press.
- Lee, KE & CE Pankhurst. 1992. Soil Organism and Sustainable Productivity. *Aust. J. Soil Res.* 30: 855-892.
- Mackay, AD & EJ Kladivko. 1985. Earthworms and rate of breakdown of soybean and maize residues in soil. *Soil Biol. Biochem.* 7(6): 851-857.
- Mischis, CC de. 1991. Las lombrices de tierra (*Annelida: Oligochaeta*) de la provincia de Córdoba, Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias. Córdoba* 59(3-4): 197-237.
- Momo, FR; CM Giovanetti & L Malacalza. 1993. Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (*Annelida, Oligochaeta*) y algunos parámetros fisicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. *Ecología Austral* 3: 7-14.
- Momo, FR; LB Falco & EB Craig. 2003. Las lombrices de tierra como indicadores del deterioro del suelo. *Revista de Ciencia y Tecnología* 8: 55-63.
- Musso, TB; MP Cantú & AR Becker. 2004. Efecto de distintos sistemas de labranza y de la fertilización sobre el carbono orgánico, N total y el pH de un hapludol típico del sur de Córdoba. XIX Cong. Arg. Cs. del Suelo. Cd. 10 p.
- Musso, TB; MP Cantú & AR Becker. 2006. Indicadores químicos de calidad de suelos. Un set mínimo para hapludoles de la cuenca del A° La Colacha. XX Cong. Arg. Ciencia del Suelo (ISSN: 10:987-21419-6-7). Cd 6 páginas.
- Paldy, A; N Puskas & I Farkas. 1988. Pesticide use related to cancer incidence as studied in a rural district of Hungary. *Sci Total Env.* 73(3): 229-44.
- Paoletti, MG. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 137-155.
- Parra, B; AR Becker & MP Cantú. 2007. Evaluación del efecto del uso y manejo del suelo sobre algunas propiedades de un Hapludol típico en la Argentina. Cuadernos Lab. Xeolóxico de Laxe (ISSN: 0213-4497). A Coruña, España. En prensa.
- Rahman, MM & Z Govindarajulu. 1997. A modification of the test of Shapiro and Wilk for normality. *Journal of Applied Statistics* 24(2): 219-236.
- Römbke, J; S Jänsch & W Didden. 2005. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62: 249-265.
- SAGPyA. 2007. Estimaciones Agrícolas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. República Argentina. Disponible on-line en: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar>
- Six, J; ET Elliot & K Paustian. 1999. Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358.
- Soil Survey Staff, 1993. Soil Survey Manual. USDA Handbook N° 18. U.S. Government Printing Office, Washington DC. pp. 437.
- Soil Survey Staff. 2006. Key to Soil Taxonomy. USDA Tenth Edition. Washington DC. 341 pp.
- Sokal, RR & FJ Rohlf, 1995. Biometry: the principles and practice of statistic in biological research. 3rd ed. W.H. Freeman and Company, New York, USA. 887 pp.

- Springett, JA. 1992. Distribution of lumbricid earthworms in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 1377-1381.
- Taboada, MA; FG Micucci; DJ Cosentino & RS Lavado. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soil of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49: 57-63.
- Uberto, ME; JM Cisneros; C Vignolo; C Cholaky y R Pedelini. 2002. Sistemas de labranza en Haplustoles énticos del área manicera de Córdoba (Arg.): I. Efecto sobre las propiedades físicas. *Acta XVIII Congr. Arg. Ciencia del Suelo*. CD. 6 páginas.
- Universidad Nacional de Córdoba. Estadística y Biometría, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2008. InfoStat. Versión P2.
- Velásquez, E; P Lavelle & M Andrade. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 3066-3080.
- Wyss, E; M Glasstetter & A Kretzschmar. 1992. Tillage treatments and earthworm distribution in a Swiss experimental corn field. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 1635-1639.