

Efecto de rotaciones cultivo-pasturas en siembra directa, con pastoreo, sobre comunidades de Oligochaeta

Zerbino M. Stella¹

¹INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) La Estanzuela, Colonia 70000, Uruguay, Correo electrónico: szerbino@inia.org.uy

Recibido: 25/4/11 Aceptado: 5/1/12

Resumen

Los oligoquetos terrestres son importantes componentes de los agroecosistemas. Tienen efectos en la dinámica de la materia orgánica y los ciclos de nutrientes, en la estructura del suelo y en la diversidad y actividad de los niveles tróficos subordinados. El clima, el tipo de suelo, la topografía, la vegetación y las prácticas de manejo, determinan la composición de las comunidades. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de distintas intensidades de uso del suelo sobre los oligoquetos. En un experimento de larga duración con siembra directa y pastoreo en INIA Treinta y Tres – Unidad Experimental Palo a Pique se realizaron muestreos durante el año 2007. Los tratamientos considerados fueron: cultivo continuo (CC), rotación corta (RC), rotación larga (RL) y pradera permanente (PP). Predominaron tres especies, *Aporrectodea caliginosa* (Lumbricidae) y *Eukerria stagnalis* y *Eukerria* sp. (Ocnerodrilidae). El uso del suelo tuvo un efecto significativo sobre la composición de las comunidades. La mayor y menor densidad de Ocnerodrilidae se registró respectivamente en CC y PP. *Aporrectodea caliginosa* fue más y menos abundante en PP y CC. Los valores más altos y bajos de densidad de capullos y de la relación adultos/inmaduros correspondieron, respectivamente a PP y CC. Para todas las variables consideradas en RL y RC, se registraron valores intermedios. La composición específica de las comunidades de oligoquetos, así como la relación adultos/inmaduros y el número de capullos reflejaron el impacto que producen distintas intensidades de uso del suelo en siembra directa con pastoreo sobre el contenido de carbono orgánico y la densidad aparente del suelo.

Palabras clave: oligoquetos, Ocnerodrilidae, Lumbricidae, rotaciones cultivos-pasturas, siembra directa

Summary

Crop-pasture Rotations in Effects No-tillage, with Grazing, on Oligochaeta Communities

Terrestrial oligochaetes are important components in agroecosystems. They have effects on the dynamics of organic matter, nutrient cycling, soil structure and in the diversity and activity of subordinated trophic levels. Climate, soil, topography, vegetation, and management practices affect communities' composition. The objective of this study was to evaluate the effect of different soil use intensities on earthworms' communities. Oligochaeta were evaluated during 2007 in a long-term experiment, located in INIA Treinta y Tres – Palo a Pique Experimental Unit. The treatments considered were: continuous agriculture, short rotation, long rotations of crops and pastures, and permanent pasture. Three species predominated: *Aporrectodea caliginosa* (Lumbricidae), *Eukerria stagnalis* and *Eukerria* sp. (Ocnerodrilidae). Soil use had significant effects on the Oligochaeta communities' composition. The highest and lowest Ocnerodrilidae densities were found in continuous agriculture and permanent pasture, respectively. *A. caliginosa* was less and more abundant in permanent pasture and continuous agriculture respectively. The highest and lowest densities of inmaturs and cocoons corresponded to permanent pasture and continuous cropping. Short and long rotations had intermediate values for all variables considered. Oligochaeta communities' composition, as well as adults/inmaturs ratio, and cocoons counts, reflected the impact of different soil use intensities for no-till and grazed soils on organic carbon content and soil bulk density.

Key words: oligochaetes, Ocnerodrilidae, Lumbricidae, crop-pasture rotations, no tillage

Introducción

Los procesos que ocurren en el suelo son mediados por los organismos que lo habitan. Las lombrices, que representan una gran proporción de la biomasa de la biota edáfica, cumplen importantes funciones agroecológicas. A través de sus actividades físicas y metabólicas intervienen en la dinámica de la materia orgánica, en los ciclos biogeoquímicos, mejoran la estructura del suelo y afectan la diversidad y actividad de los niveles tróficos subordinados (Lavelle *et al.*, 2006). El clima, el tipo de suelo, la topografía, la vegetación y las prácticas de manejo, son factores que afectan a estos organismos (Lavelle *et al.*, 1993).

En sistemas agrícolas, las comunidades presentes están determinadas por la intensidad del cambio inducido respecto al ecosistema natural y por la habilidad de las distintas especies de adaptarse a los cambios (Brussaard *et al.*, 2007). La preparación del suelo es la práctica de manejo que tiene los mayores efectos en la distribución y abundancia de los organismos edáficos (Stinner y House, 1990). Está demostrado que el laboreo convencional tiene impactos negativos en las lombrices de tierra (Zerbino, 2010). Como consecuencia de la perturbación mecánica y de la eliminación de la cobertura vegetal se producen importantes fluctuaciones de temperatura y humedad.

Por el contrario, en siembra directa, la falta de movimiento del suelo y la presencia de rastrojo en superficie, benefician a los organismos edáficos, las fluctuaciones de la temperatura y la humedad son menores, aumenta el contenido de materia orgánica y mejora la estructura del suelo (Stinner y House, 1990). Sin embargo, los resultados de estudios que evaluaron el efecto de esta práctica sobre los oligoquetos reportan respuestas positivas y negativas (Kladvik *et al.*, 1997; Chan y Heenan, 2006). Entre las razones que explican estas discordancias, se mencionan el tipo de suelo, las condiciones ambientales posteriores al inicio de la siembra directa, la cobertura vegetal y en consecuencia las diferencias en la calidad y cantidad de los residuos que cubren la superficie (Mather y Christensen, 1988; Siegrist *et al.*, 1998; Hubbard *et al.*, 1999; Carpenter-Boggs *et al.*, 2000; Chan, 2001; Zaller y Kopke, 2004; Simonsen *et al.*, 2010). También hay que considerar que la información generada no es conclusiva, por ser ésta una tecnología relativamente joven en adopción.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de distintas rotaciones de cultivos y pasturas en siembra directa y con pastoreo sobre los oligoquetos terrestres y explorar las relaciones con algunas propiedades del suelo.

Materiales y métodos

Durante el otoño y la primavera del 2007 fueron realizados muestreos en el experimento de larga duración del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) localizado en la Unidad Experimental Palo a Pique (UEPP, Departamento de Treinta y Tres) que fue instalado en 1995, donde se evalúan cuatro intensidades de uso del suelo en siembra directa, sometidas a pastoreo (Terra y García Préchac, 2001).

Los tratamientos considerados fueron: **Cultivo continuo (CC)**- dos cultivos forrajeros por año: avena (*Avena sp.*) en mezcla con raigrás anual (*Lolium multiflorum*) en invierno para pastoreo, y sorgo (*Sorghum bicolor*) o moha (*Setaria italica*) en verano para pastoreo o ensilaje; **Rotación corta (RC)**- dos años de doble cultivo como en el caso anterior y dos años de pastura compuesta por trébol rojo (*Trifolium pratense*) y raigrás; **Rotación larga (RL)**- dos años de doble cultivo como en el primer tratamiento y cuatro años de pastura mezcla de trébol blanco (*Trifolium repens*), lotus (*Lotus corniculatus*), dactylis (*Dactylis glomerata*); y **Pradera permanente (PP)**- de trébol blanco, lotus y raigrás, renovada cada tres o cuatro años.

El experimento no tiene repeticiones sincrónicas, pero todos los componentes de las diferentes rotaciones están presentes al mismo tiempo, totalizando 12 parcelas, RL está compuesta por seis parcelas; RC por cuatro parcelas, y CC y PP con una parcela. El tamaño de cada unidad experimental es de 6 hectáreas. Con excepción del número de aplicaciones de Glifosato por año, que está directamente relacionado con la intensidad del uso del suelo, los manejos de suelo y sanitario que reciben los tratamientos son similares. Las pasturas son fertilizadas con 30 kg/ha de N y 60 kg/ha de P₂O₅ a la siembra y refertilizadas en otoño con 50 kg/ha de P₂O₅. Los cultivos anuales de invierno o verano generalmente son fertilizados en la siembra con 30 kg/ha de N y 30 kg/ha de P₂O₅. Durante la estación de crecimiento, después del pastoreo o corte, se aplican 35 kg/ha de N por año (Terra *et al.*, 2006). Es de destacar que en el momento en que se realizó el muestreo, RC y RL cumplieron tres y dos ciclos respectivamente desde que fuera instalado el experimento.

Muestreo

El método de muestreo de las lombrices fue similar al recomendado por el Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) (Anderson y Ingram, 1993). La unidad básica de muestreo (UBM) fue de 25 cm de lado por

20 cm de profundidad. En cada parcela se realizaron 12 UBM distribuidas en tres estratos topográficos: alto, medio y bajo, que fueron previamente georeferenciados.

Los ejemplares colectados en cada UBM fueron conservados en formol 4%. En el laboratorio fueron separados por su morfología externa, e identificados de acuerdo a las descripciones realizadas por Jamieson (1970) y Reynolds (1977), a nivel de familia, género y especie según el caso. Los individuos fueron separados en adultos e inmaduros, basado en la presencia o ausencia del clitelo. También se registró el número de capullos presentes.

En los dos momentos de muestreo, con el rastrojo presente en las UBM de cada posición topográfica se formó una muestra compuesta. En el laboratorio se determinó el peso total y el de las gramíneas.

En otoño, en cada posición topográfica se tomaron muestras de suelo en dos profundidades, para determinar la densidad aparente a 5-8 cm y 8-13 cm y el porcentaje de carbono orgánico a 0-5 cm y 5-15 cm.

Análisis de datos

Para los oligoquetos, las variables fueron densidad total y específica de las especies predominantes, de adultos, inmaduros y capullos y de la relación adultos/inmaduros. Debido a que son variables discretas que presentaron asociación entre la media y varianza, se analizaron utilizando modelos lineales generalizados con distribución Poisson o binomial negativa y función logarítmica en el caso de densi-

dad total y específica, de adultos, inmaduros y capullos, y distribución binomial para la relación adultos/inmaduros (Proc GENMOD, SAS Inst, 2009). Los datos de peso de rastrojo y de las propiedades del suelo fueron analizados con modelos lineales generales (PROC GLM, SAS Inst, 2009).

Para el análisis estadístico de los datos, las zonas topográficas de cada parcela se consideraron pseudobloques y fueron analizadas con un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Para comparar los usos del suelo entre sí, las fases pasturas y cultivos de las rotaciones y el promedio de cada fase de las dos rotaciones, respectivamente con PP y CC, se realizaron contrastes (Cuadro 1).

Resultados

Lombrices

En los dos muestreos se colectaron 3500 ejemplares, que fueron clasificados en seis especies, tres pertenecieron a la familia Lumbricidae, dos a Ocnerodrilidae y una a Glossocolecidae. Sólo tres especies representaron el 90% del total colectado, *Eukerria stagnalis* (36%) y *Eukerria* sp. (34%) (Ocnerodrilidae) y *Aporrectodea caliginosa* (20%) (Lumbricidae). Para todo el estudio la frecuencia de ceros en las muestras fue de 3%. El 54% del material fue colectado en el muestreo de otoño y el resto en primavera.

Los resultados de los análisis del estadístico de máxima verosimilitud para la densidad total indicaron que hubo efec-

Cuadro 1. Comparaciones realizadas (Contrastes).

	RL						RC					
	P1	P2	P3	P4	C1	C2	P1	P2	C1	C2	CC	MP
RL vs RC	4	4	4	4	4	4	-6	-6	-6	-6	0	0
RL vs CC	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	-6	0
RL vs PP	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-6
RC vs CC	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	-4	0
RC vs PP	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	-4
CC vs PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
Past. RL vs Past. RC	1	1	1	1	0	0	-2	-2	0	0	0	0
Cult. RL vs Cult. RC	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	-1	0	0
Cult. Rot vs CC	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	-4	0
Past. Rot. vs PP	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	-6

PP- Pradera permanente; RL- Rotación Larga; RC- Rotación Corta; CC-Cultivo Continuo; Past. RL- fase pasturas RL; Past. RC- fase pasturas RC; Cult. RL- fase cultivos RL; Cult. RC-fase cultivos RC; Cult. Rot- fase cultivos de las rotaciones; Past. Rot- fase pasturas de las rotaciones; P1-pradera primer año; P2-pradera segundo año; P3-pradera tercer año; P4-pradera cuarto año; C1- cultivos primer año; C2-cultivos segundo año.

to del tratamiento y del momento de muestreo. (Cuadro 2). Los valores mayor y menor correspondieron a CC (231 ind/m²) y PP (150 ind/m²) respectivamente, que fueron diferentes entre sí. Las rotaciones registraron valores intermedios que fueron similares entre sí. La densidad promedio de la fase cultivos de ambas rotaciones (174 ind/m²) fue menor que la de CC (231 ind/m²), mientras que la correspondiente a la fase pasturas (205 ind/m²) fue semejante a PP (150 ind/m²).

En el caso de las dos especies de Ocnoderilidae, hubo interacción tratamiento y momento de muestreo (Cuadro 2). Para *E. stagnalis*, la interacción fue consecuencia del incremento de la densidad que se registró en PP en primavera, mientras que en los restantes usos del suelo disminuyó. En otoño la mayor abundancia, que fue diferente de la registrada en RC y PP, se obtuvo en CC. En este muestreo, los valores de las fases cultivos y pasturas de ambas rotaciones fueron respectivamente semejantes entre sí. Lo mismo ocurrió con los promedios de éstas (fase pasturas-68 ind/m²; fase cultivos-95 ind/m²), respectivamente con PP (41 ind/m²) y CC (128 ind/m²). En primavera los usos del suelo fueron semejantes entre sí, al igual que los con-

trastes considerados. En este momento, las mayores reducciones en la densidad se produjeron en la fase cultivos de las rotaciones y en CC.

Por el contrario, para *Eukerria* sp., la interacción estuvo dada por el importante incremento de la densidad en CC en primavera. Situación similar se registró en la fase cultivos de las dos rotaciones, aunque el aumento fue de menor magnitud. En otoño, la menor densidad se registró en PP, que fue diferente de los restantes usos del suelo. En este momento hubo diferencias entre la fase cultivos de ambas rotaciones, el mayor valor correspondió a RC. La densidad de la fase pasturas de ambas rotaciones, al igual que los promedios de cada una de las fases con los valores correspondientes a PP y CC, fueron similares. En primavera se registraron diferencias entre todos los usos del suelo, hubo un gradiente de mayor a menor desde CC a PP. Existieron diferencias entre las rotaciones en las fases pasturas y cultivos, en el primer caso la mayor densidad correspondió a RL y en el segundo a RC. El valor promedio de la fase pasturas de las rotaciones (71 ind/m²) fue mayor que el de PP (13 ind/m²) y por el contrario el de la fase cultivos (63 ind/m²) fue menor que el de CC (135 ind/m²) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Densidad total y de las tres especies predominantes *Aporrectodea caliginosa* (Lumbricidae) y *Eukerria stagnalis* y *Eukerria* sp. (Ocnoderilidae)(ind/m²), para los diferentes usos del suelo y fases de las rotaciones.

	Total		<i>Eukerria stagnalis</i>		<i>Eukerria</i> sp.		<i>Aporrectodea caliginosa</i>	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
PP	159 B ¹	141B	41 B	64 A	19 B	13 D	90 A	45 A
RL	215 AB	174AB	92 AB	72 A	53 A	61 C	44 C	30 C
Fase pasturas	220 a	196 a	88 a	80 a	66 a	74 a	45 a	32 a
Fase cultivos	205 a	130 a	99 a	55 a	26 b	35 b	43 a	27 a
RC	220 AB	163AB	70 B	38 A	80 A	79 B	47 B	38 B
Fase pasturas	232 a	171 a	48 a	32 a	87 a	68 b	85 a	67 a
Fase cultivos	209 a	154 a	92 a	44 a	72 a	91 a	9 b	10 b
CC	233 A	229A	128 A	68 A	63 A	135 A	15 BC	16 BC
Cult. Rot vs CC	*	*	N.S.	N.S.	N.S.	**	N.S.	N.S.
Past. Rot. vs PP	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	**	**	**
P> χ^2 trat	0,001		<0,0001		<0,0001		<0,0001	
P> χ^2 mom	0,0035		0,0038		0,3066		0,0532	
P> χ^2 tratx mom	0,3959		0,0027		<0,0001		0,8276	

¹Valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes al $\alpha=0,05$ para los contrastes de las medias de los usos de la tierra basado en el estadístico de máxima verosimilitud. Letras mayúsculas comparan los valores de los usos del suelo. Letras minúsculas en negrita comparan los valores entre las fases pastura de las rotaciones. Letras minúsculas comparan los valores entre la fase cultivos de las rotaciones. * $P\chi^2 \leq 0,05$; ** $P\chi^2 \leq 0,01$; *** $P\chi^2 \leq 0,001$. PP- Pradera permanente; RL- Rotación larga; RC- Rotación corta; CC-Cultivo continuo.

Para *A. caliginosa* hubo efecto de los usos del suelo y del momento de muestreo (Cuadro 2). La mayor densidad se obtuvo en PP, valor que fue diferente de los restantes usos del suelo. Sólo hubo diferencias en la fase cultivos, el valor de RL fue superior al de RC. El promedio de la fase cultivos de ambas rotaciones (22 ind/m²) fue similar al de CC (15 ind/m²), mientras que el correspondiente a la fase pasturas (57 ind/m²) fue menor que el de PP (67 ind/m²).

La abundancia relativa de la familia Ocnerothridae aumentó con el incremento de la intensidad del uso del suelo. Las dos especies en conjunto representaron en CC más del 90% del total de individuos colectados, 50% en PP, alcanzando valores próximos al 80% en RC y RL. Por el contrario la importancia relativa de *A. caliginosa* disminuyó con el aumento de la intensidad de uso del suelo. En CC representó menos del 10% (Figura 1).

En todos los usos del suelo y fases de las rotaciones predominaron los inmaduros sobre los adultos (Cuadro 3). En la densidad de los adultos, hubo interacción entre tratamiento y momento de muestreo. Se registraron diferencias significativas en primavera entre la fase pasturas de ambas rotaciones, la cantidad de adultos de RL fue mayor que en

RC, y en el contraste entre el promedio de la fase cultivos y CC (37 vs 17 ind/m²). Para la densidad de inmaduros se detectaron efectos de tratamiento y momento de muestreo. A CC correspondió el mayor valor, los restantes usos del suelo fueron similares entre sí. El promedio de inmaduros de la fase pasturas de las rotaciones fue mayor que el de PP (167 vs 114 ind/m²) y por el contrario el de la fase cultivos fue menor que el de CC (137 vs 216 ind/m²). Estos resultados determinaron que la relación adultos/inmaduros fuera más baja en CC que en PP. Para los capullos hubo efecto del tratamiento y del momento de muestreo. La mayor densidad se registró en PP. Los restantes usos del suelo fueron semejantes entre sí. Hubo diferencias en las fases pasturas y cultivos de las rotaciones, los mayores valores correspondieron respectivamente a RC y RL. La densidad de capullos promedio de la fase pasturas de las rotaciones (63 cap/m²) fue menor que en PP (146 cap/m²) y el promedio de la fase cultivos de RC y RL (71 cap/m²) fue similar al valor de CC (36 cap/m²) (Cuadro 3).

Rastrojo

Los resultados del análisis de varianza determinaron efectos de los tratamientos para el rastrojo total y de las gramíneas (Cuadro 4). En el primer caso se registró interacción entre tratamiento y momento de muestreo, sin embargo en los dos momentos el mayor y menor valor correspondieron a CC y PP respectivamente. En otoño, la cantidad de rastrojo total presente en la fase cultivos de RC fue mayor que en RL. El promedio de la fase pasturas de las rotaciones fue superior al valor de PP.

Respecto al rastrojo de gramíneas existió efecto del tratamiento y del momento de muestreo. El mayor y menor valor correspondieron a CC y PP, respectivamente. Los promedios de las fases pasturas y cultivos fueron similares a PP y CC, respectivamente.

Propiedades del suelo

Hubo efecto de los tratamientos para la densidad aparente en las dos profundidades estudiadas y el porcentaje de carbono orgánico en la porción de suelo más superficial (0-5 cm). En CC se registraron el mayor y el menor valor, respectivamente, para la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico. Para estas variables los restantes usos del suelo fueron similares entre sí. Sólo hubo diferencias en la fase cultivos de las rotaciones para el porcentaje de carbono orgánico en superficie (0-5 cm), el cual fue mayor en RL respecto a RC (Cuadro 5).

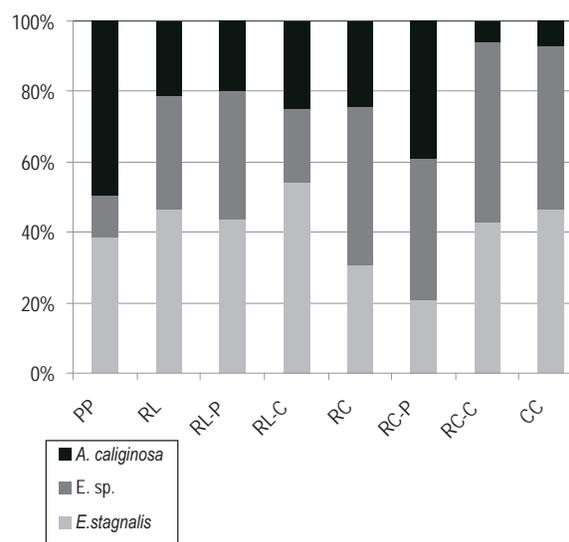


Figura 1. Abundancia relativa de las especies predominantes para los distintos usos del suelo y fases de la rotación.

PP- Pradera permanente; RL- Rotación larga; RL-P Rotación larga, fase pasturas; RL-C Rotación larga, fase cultivos; RC- Rotación corta; RC-P Rotación corta, fase pasturas; RC-C Rotación corta, fase cultivos; CC-Cultivo continuo. *A. caliginosa*- *Aporrectodea caliginosa*; *E. sp.* - *Eukerria* sp.; *E. stagnalis*- *Eukerria stagnalis*.

Cuadro 3. Densidad de adultos, inmaduros y capullos (n°/m^2) y relación adultos/inmaduros para los diferentes usos del suelo y fases de las rotaciones.

	Adultos		Inmaduros		Adultos/Inmaduros		Capullos	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
PP	48 A ¹	27 A	111 B	115 B	0,43 A	0,23 A	88 A	204 A
RL	45 A	31 A	170 B	143 B	0,26 A	0,22 A	31 B	109 B
Fase pasturas	48 a	30 a	172 a	166 a	0,28 a	0,18 a	21 b	66 b
Fase cultivos	38 a	34 a	167 a	96 a	0,22 a	0,35 a	50 a	195 a
RC	51 A	26 A	169 B	137 B	0,30 AB	0,19 AB	40 B	61 B
Fase pasturas	65 a	10 b	167 a	161 a	0,39 a	0,06 a	64 a	101 a
Fase cultivos	37 a	42 a	171 a	112 a	0,22 a	0,37 a	17 b	21 b
CC	17 A	13 A	216 A	216 A	0,08 B	0,06 B	17 B	55 B
Cult. Rot vs CC	N.S.	*	***	***	*	*	N.S.	N.S.
Past. Rot. vs PP	N.S.	N.S.	*	*	***	***	***	***
P> χ^2 trat	0,0071		<0,0001		0,0171		<0,0001	
P> χ^2 mom	0,0016		0,0197		0,4108		<0,0001	
P> χ^2 tratx mom	0,0409		0,1087		0,1806		0,0724	

¹Valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes al $\alpha=0,05$ para los contrastes de las medias de los usos de la tierra basados en el estadístico de máxima verosimilitud. Letras mayúsculas comparan los valores de los usos del suelo. Letras minúsculas en negrita comparan los valores entre las fases pasturas de las rotaciones. Letras minúsculas comparan los valores entre la fase cultivo de las rotaciones.

* $P\chi^2 \leq 0,05$; ** $P\chi^2 \leq 0,01$; *** $P\chi^2 \leq 0,001$. PP- Pradera permanente; RL- Rotación larga; RC- Rotación corta; CC-Cultivo continuo.

Cuadro 4. Cantidad de rastrojo total y de gramíneas (g/m^2) para los diferentes usos del suelo y fases de las rotaciones.

	Total		Gramíneas	
	Otoño	Primavera	Otoño	Primavera
PP	0 D ¹	0 C	0 C	0 C
RL	118 C	43 BC	72 B	35 B
Fase pasturas	92 a	9 a	50 a	4 a
Fase cultivos	171 b	112 a	118 a	97 a
RC	161 B	62 B	90 B	48 B
Fase pasturas	89 a	0 a	30 a	0 a
Fase cultivos	233 a	125 a	151 a	97 a
CC	239 A	166 A	171 A	126 A
Cult. Rot vs CC	N.S	N.S.	N.S	N.S
Past. Rot. vs PP	***	N.S.	N.S	N.S
P>F trat	<0,0001		<0,0001	
P>F mom	<0,0001		0,0003	
P>F trat x mom	0,0243		0,1324	

¹Valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes $\alpha=0,05$ para los contrastes de las medias de los usos de la tierra basados en la prueba F. Letras mayúsculas comparan los valores de los usos del suelo. Letras minúsculas en negrita comparan los valores entre las fases pastura de las rotaciones. Letras minúsculas comparan los valores entre la fase cultivo de las rotaciones. * $P_F \leq 0,05$; ** $P_F \leq 0,01$; *** $P_F \leq 0,001$. PP- Pradera permanente; RL- Rotación larga; RC- Rotación corta; CC-Cultivo continuo.

Cuadro 5. Propiedades del suelo, densidad aparente y carbono orgánico (porcentaje), para los diferentes usos del suelo y fases de las rotaciones.

	Densidad aparente		Carbono Orgánico	
	(Mg/m ³)		(%)	
	Profundidad (cm)			
	5-8	8-13	0-5	5-15
PP	1.41 B ¹	1.35 B	2.45 A	1.15 A
RL	1.37 B	1.36 B	2.38 A	1.2 A
Fase pasturas	1.36 a	1.38 a	2.27 a	1.14 a
Fase cultivos	1.39 a	1.32a	2.60 a	1.32 a
RC	1.38 B	1.34 B	2.23 A	1.21 A
Fase pasturas	1.34 a	1.36 a	2.13 a	1.2 a
Fase cultivos	1.41 a	1.32 a	2.32 b	1.23 a
CC	1.52 A	1.45 A	1.84 B	0.99 A
Cult. Rot vs CC	**	**	N.S	N.S.
Past. Rot. vs PP	N.S.	N.S.	***	N.S.
P>F trat	0.0075	0.04	0,0243	N.S

¹Valores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes $\alpha=0,05$ para los contrastes de las medias de los usos de la tierra basados en la prueba F. Letras mayúsculas comparan los valores de los usos del suelo. Letras minúsculas en negrita comparan los valores entre las fases pastura de las rotaciones. Letras minúsculas comparan los valores entre la fase cultivo de las rotaciones. * $P_F \leq 0,05$; ** $P_F \leq 0,01$; *** $P_F \leq 0,001$. PP- Pradera permanente; RL- Rotación larga; RC- Rotación corta; CC-Cultivo continuo.

Discusión

Los oligoquetos en su función de ingenieros del ecosistema (Jones *et al.*, 1994) son responsables de la incorporación y de la descomposición de la materia orgánica, de la estimulación de la actividad microbiana y del mantenimiento de la porosidad e infiltración. En este estudio la composición específica de las comunidades varió con la intensidad de uso del suelo, como consecuencia de las diferencias en el hábitat, en la disponibilidad de recursos (cantidad y calidad de residuos y de exudados radiculares), en concordancia con lo reportado por Coleman *et al.* (2004), Ivask (2007) y Smith *et al.* (2008). En el largo plazo las diferencias de las comunidades van a impactar en forma diferente en las propiedades físico-químicas del suelo (Dominguez *et al.*, 2009).

La mayor densidad total registrada en CC fue consecuencia de la presencia de las especies de la familia Ocnerodrilidae. Estas especies incrementaron su densidad a medida que aumentó la frecuencia de uso de gramíneas anuales, y en consecuencia con la mayor cantidad de resi-

duos en superficie. El suelo CC se caracterizó por registrar los menores valores de materia orgánica en la profundidad 0-5 cm y los más altos de densidad aparente en las dos profundidades estudiadas, es decir que está más compactado, y por lo tanto se satura de agua más rápidamente que los restantes. En nuestro país *E. stagnalis* fue dominante en planicies asociadas a vías de drenaje o cursos de agua (Zerbino, 2011). En Argentina esta especie caracteriza a suelos muy deteriorados y con problemas de drenaje (Momo *et al.*, 2003). Los resultados obtenidos indican, tal como lo establecen estos autores, que es una especie muy tolerante a la degradación física, como consecuencia de su pequeño diámetro y elasticidad, y que se adapta muy bien a ambientes donde a otras les resulta difícil habitar. Por otra parte, la baja densidad registrada en PP, demuestra que es una competidora ineficiente en ambientes más benignos o suelos con mejor calidad, donde otras especies se desarrollan muy bien (Momo *et al.*, 2003). La interacción significativa entre tratamiento y momento de muestreo, registrada para las dos especies de Ocnerodrilidae, indicaría que los

picos de actividad de las mismas son diferentes y/o que los cambios en la oferta de alimento y humedad del suelo, por la disminución en la cantidad de residuos y/o de los cambios en la vegetación, las afectan de manera diferente (Lavelle y Spain, 2001; Whalen, 2004).

A diferencia de los Ocnoderilidae, *A. caliginosa* mostró preferencia por los usos del suelo con presencia de leguminosas forrajeras. Estos ambientes, comparados con los de agricultura continua, tienen una frecuencia menor de uso de herbicidas, una cantidad baja o nula de rastrojo en superficie, la densidad aparente es menor y el contenido de carbono del suelo es mayor. Esto último es sinónimo de una disponibilidad mayor de sustratos (Riley *et al.*, 2008; Eriksen-Hamel *et al.*, 2009). Las pasturas producen más materia orgánica, a través de la descomposición de raíces y de material superficial que deja sin consumir el ganado, así como por los exudados radiculares. Momo *et al.* (2003) encontraron que el género *Aporrectodea* tiene preferencia por ambientes perturbados, con suelos de buena estructura y contenido alto de materia orgánica. En las rotaciones, la presencia de pasturas por un período de tiempo más prolongado determinó que en la fase cultivos, la densidad poblacional de *A. caliginosa* permaneciera constante.

Por el contrario, cuando la fase pasturas fue menor (RC), la densidad poblacional en la fase cultivos disminuyó drásticamente. Eekeren *et al.* (2008) establecieron que la mejor manera de mantener la población de lombrices en tierras agrícolas es incluir leguminosas forrajeras durante varios años en la rotación. La densidad mayor de esta especie podría estar asociada a una frecuencia menor en el uso de herbicidas, fundamentalmente glifosato. Si bien se constató que este principio activo tiene baja toxicidad directa (Dalby *et al.* 1995), está determinado que afecta significativamente el desarrollo y la reproducción de especies del género *Eisenia* (Casabé *et al.*, 2007; Correia y Moreira, 2010). Por otra parte, también hay que considerar que la mayor frecuencia en el uso de herbicidas puede ocasionar efectos negativos como resultado de la reducción de fuentes de materia orgánica que constituyen su alimento (Edwards, 1995). Estudios del impacto de esta especie determinaron que mejora la infiltración y por lo tanto la descarga de agua es más rápida (Ernst y Emmerling, 2009).

En relación a las diferencias encontradas en la composición específica de las comunidades, las mismas son similares a las registradas en los muestreos realizados en el año 2003 (Zerbino *et al.*, 2006; Zerbino, 2007), con la diferencia que en ese año *A. caliginosa* no fue colectada en

CC. También se destaca que en los muestreos de 2007 las densidades totales registradas en todos los usos del suelo fueron superiores respecto al 2003. La densidad total promedio de los dos muestreos en ambos años, 2003 y 2007 respectivamente, fueron en CC de 187 ind/m² y de 231 ind/m², en RC 135 ind/m² y 191 ind/m², en RL 104 ind/m² y 194 ind/m² y en MP estos valores fueron de 132 ind/m² y 150 ind/m². Si bien estos resultados pueden ser debidos a las condiciones climáticas registradas, también hay que considerar que los años en siembra directa aumentaron.

Considerando el diámetro menor de las especies de la familia Ocnoderilidae respecto al de *A. caliginosa*, se puede establecer que los usos del suelo con más participación de leguminosas forrajeras son los que tuvieron mayor biomasa de lombrices. Existen cantidad de estudios, realizados en distintas localidades geográficas, que establecieron que la biomasa de lombrices se incrementa con el uso de leguminosas forrajeras (Syers y Springett, 1983; Metzke *et al.*, 2007; Riley *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2008; Eekeren *et al.*, 2008). De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio y por los reportados por Zerbino *et al.* (2006) y Zerbino (2007) se puede establecer que existe una relación inversa entre la intensidad del uso del suelo y el tamaño de las especies presentes.

La mayor relación adultos/inmaduros en PP respecto a CC, indicaría que PP proporciona un ambiente que permite que las lombrices se desarrollen, maduren y se reproduzcan, y que en CC los individuos no alcanzan la madurez. Similares resultados obtuvieron Domínguez *et al.* (2009) en la Argentina.

En el momento del estudio RC y RL cumplieron respectivamente tres y dos ciclos completos. Para la densidad total y de *E. stagnalis* ambas rotaciones fueron similares entre sí. Para *Eukerria sp.* y *A. caliginosa* hubo diferencias en los contrastes de las fases cultivos y pasturas de ambas rotaciones; detectándose las diferencias mayores en el primer caso.

Este resultado es de suma importancia para futuros estudios, debido a que sólo será necesario realizar los muestreos en la fase agrícola de las rotaciones, lo que contribuirá a un ahorro de tiempo muy importante.

Por otra parte, los resultados obtenidos para las dos especies del género *Eukerria* indicaron que si el objetivo es estudiar el efecto del uso del suelo en las comunidades será necesario realizar los muestreos en los dos momentos que se plantearon en este trabajo.

Conclusiones

La composición específica de las comunidades varió con la intensidad del uso del suelo. La densidad de tres especies de lombrices con requerimientos de hábitat y recursos diferentes, *A. caliginosa* y las dos especies de Ocneroдрilidae, así como la relación adultos/ inmaduros y la densidad de capullos, reflejaron el impacto producido por las distintas intensidades de uso del suelo en siembra directa con pastoreo, sobre la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico en superficie. Por lo tanto, se concluye que los oligoquetos terrestres pueden utilizarse como indicadores de evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción.

Bibliografía

- Anderson JM, Ingram JSI. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. 2nd. Ed. Wallingford, CAB International. 221 p.
- Brussaard L, de Ruiter PC, Brown GG. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:233-244.
- Carpenter-Boggs L, Kennedy AC, Reganold JP. 2000. Organic and biodynamic management: effects on soil biology. *Soil Science Society American Journal* 64:1651-1659.
- Casabé N, Piola L, Fuchs J, Oneto ML, Pamparato L, Basack S, Giménez R, Massaro R, Papa JC, Kesten E. 2007. Ecotoxicological assessment of the effects of Glyphosate and Chlorpyrifos in an Argentine soya field. *Journal of Soils and Sediments* 7:232-239.
- Chan KY, Heenan DP. 2006. Earthworm population dynamics in conservation tillage systems in south-eastern Australia. *Australian Journal of Soil Research* 44: 425-431.
- Chan KY. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population and diversity, implications for functioning in soils. *Soil and Tillage Research* 57: 179-171.
- Coleman DC, Crossley DA, Hendrix PF. 2004. Fundamentals of Soil Ecology. 2nd ed. Athens: Elsevier. 386 p.
- Correia FV, Moreira JC. 2010. Effects of Glyphosate and 2,4-D on Earthworms (*Eisenia foetida*) in Laboratory Tests. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85:264-268.
- Dalby PR, Baker GH, Smith SE. 1995. Glyphosate, 2,4-DB and Dimethoate: effects on Earthworm survival and growth. *Soil Biology and Biochemistry*, 27:1161-1162.
- Domínguez A, Bedano JC, Becker AR. 2009. 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. *Ciencia de Suelo* 27(1):11-19.
- Edwards CA, Bohlen PJ, Linden DR, Subler S. 1995. Earthworms in agroecosystems. In Hendrix, P.F. (Ed.). *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Boca Raton: Lewis Publishers. pp. 185-213.
- Eekeren N van, Bommele L, Bloem J, Schouten T, Rutgers M, Goede R de, Reheul D, Brussaard L. 2008. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology* 40:432-446.
- Eriksen-Hamel NS, Speratti AB, Whalen JK, Légère A, Madramootoo CA. 2009. Earthworm population and growth rates related to long-term crop residue and tillage management. *Soil Tillage Research* 104:311-316.
- Ernst G, Emmerling C. 2009. Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass and community composition of earthworm after 10 years period. *European Journal Soil Biology* 42:247-251.
- Hubbard VC, Jordan D, Stecker JA. 1999. Earthworm response to rotation and tillage in a Missouri claypan soil. *Biology and Fertility Soils* 29, 343-347.
- Ivask M, Kuu A, Sizov E. 2007. Abundance of earthworm species in Estonian arable soils. *European Journal of Soil Biology* 43:39-42.
- Metzke M, Potthoff M, Quintern M, HeB, J, Joergensen RG. 2007. Effect of reduced tillage systems on earthworm communities in a 6-year organic rotation. *European Journal of Soil Biology* 43:S209-S215.
- Momo F, Falco L, Craig EB. 2003. Las lombrices de tierra como indicadoras del deterioro del suelo. *Revista de Ciencia y Tecnología*. 8: 55-63.
- Reynolds JW. 1977. The Earthworms (Lumbricidae and Sparganophilidae of Ontario). Toronto: Royal Ontario Museum. 141 p. (Life Sciences Miscellaneous Publications).
- Riley H, Pommeresche R, Eltun R, Hansen S, Korsaeht A. 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. *Agriculture Ecosystem Environment* 124:275-284.
- Siegrist S, Schaub D, Pfiffner L, Mader P. 1998. Does organic agriculture reduce soil erodability? The results of a long-term study on loess in Switzerland. *Agriculture Ecosystem Environment* 69:253-264.
- Simonsen J, Posner J, Rosemeyer M, Baldock J. 2010. Endogeic and anecic abundante in six Midwestern cropping systems. *Applied Soil Ecology* 44:147-155.
- Smith RG, McSwiney CP, Grangy AS, Suwanwaree P, Snider RM, Robertson GP. 2008. Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. *Soil and Tillage Research*, 100: 83-88.
- Stinner BR, House GJ. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology* 35:299-318.
- Syers JK, Springett JA. 1983. Earthworm ecology in grassland soil. En: Satchell JE. [Ed.]. *Earthworm Ecology*. London: Chapman Hall. pp. 67-84.
- Terra JA, García Préchac F, Salvo L, Hernández J. 2006. Soil use intensity impacts on total and particulate soil organic Matter in no-till crop-pasture rotations under direct grazing. *Advances in Geoecology* 38: 233-241.
- Terra JA, García Préchac F. 2001. Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del este: Síntesis 1995-2000. Montevideo: INIA. 100 p. (Serie Técnica: 125).
- Whalen JK. 2004. Spatial and temporal distribution of earthworm patches in corn field, hayfield and forest systems of southwestern Quebec, Canada. *Applied Soil Ecology*, 27:143-151.
- Zaller GJ, Kopke U. 2004. Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendments on yields, soil chemical and biochemical and biological properties in a long term field experiment. *Biology and Fertility Soils*, 40:222-229.
- Zerbino MS. 2011. La macrofauna del suelo y su relación con la Heterogeneidad florística. En: Altesor A, Ayala W, Paruelo JM [Eds.]. *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales*. INIA (Serie FPTA; 24) pp. 97-111.
- Zerbino MS. 2010. Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivo-pasturas con laboreo convencional. *Acta Zoológica Mexicana*, 26:189-202.
- Zerbino MS. 2007. Evaluación de la biomasa de lombrices de tierra en diferentes sistemas de producción del Uruguay. En: Brown GG, Frago C. [Eds.]. *Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia*. Londrina: EMBRAPA. pp. 287-296.
- Zerbino MS, Rodríguez C, Altier N. 2006. Oligochaeta communities in Uruguayan Agro-ecosystems. *Caribbean Journal of Science*, 42: 315-324.