

ABUNDANCIA DE MEGADRILOS (ANNELIDA: OLIGOCHAETA) EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCION

NL CLEMENTE, AN LÓPEZ, AM VINCINI, HA A CASTILLO, DM CARMONA, PL MANETTI, S SAN MARTINO

Unidad Integrada FCA - INTA Balcarce, CC 276 (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

e-mail: nataliaclemente@hotmail.com

Recibido 10 de marzo de 2003, aceptado 8 de octubre de 2003

ABUNDANCE OF EARTHWORMS (ANNELIDA: OLIGOCHAETA) IN DIFFERENT PRODUCTION SYSTEMS

Earthworms are important components of soil fauna and their activity contributes to soil health. The aims of this work were to determine: a) the relationship between seasonal earthworm density (PD) - biomass (PB) in different production systems, and b) the relationship between vertical distribution of earthworms and environmental and edaphic properties. This work was carried out in southeast Buenos Aires province in four management conditions: natural (N), organic livestock (GO), intensive livestock (GF) and conventional agriculture (AC) from spring 1998 to summer 1999. The comparative study of adults earthworm populations showed significant interaction between site and season ($p < 0.05$) in density and biomass. GO and N systems supported an earthworm PD intermediate between PD of agroecosystems under intensive fertilization (GF) and that of conventional agriculture (AC). GO and N averaged 32 to 275 ind m^{-2} (individues per m^2) in during sampling seasons. PD values in GF were 506 ind m^{-2} spring 1998, 562 ind m^{-2} for fall and 446 ind m^{-2} for winter 1999. For AC were 80 ind m^{-2} for spring 1998 and 28 for fall 1999. PB was highest in GF during fall and winter 1999 13.15 and 15.66 g m^{-2} respectively. Earthworms occur at 30 cm depth with a clear concentration in the top 10 cm on the basis of organic matter and soil moisture contents. Vertical distribution was also influenced seasonality as worms migrated deeper in the dry season.

Key words: earthworms, density, biomass, natural system, agroecosystems.

INTRODUCCION

El suelo es un sistema viviente y complejo constituido por una mezcla de minerales, agua, aire, micro-organismos, raíces y gran variedad de organismos principalmente invertebrados. Dentro de éstos, los oligoquetos megadriilos (lombrices) promueven la fertilidad, produciendo la mineralización del material orgánico y movilizandoo nutrientes, mediante un sistema de digestión simbiótico con la microflora del suelo, necesarios para el crecimiento y producción de las plantas (Lavelle 1997; Cihacek *et al.* 1996).

Los efectos tóxicos producidos por los agroquímicos, ruptura física de los habitats, disminución de la disponibilidad de residuos orgánicos y por ende de la materia orgánica afectan a los megadriilos (Anderson 1994).

En el sudeste bonaerense no se han realizado estudios sobre la abundancia y distribución de los oligoquetos megadriilos en diferentes sistemas de producción. Por tal motivo se hipotetiza que: las condiciones

edáficas y climáticas del suelo en sistemas sometidos a diferentes prácticas de manejo influyen en la densidad, biomasa y distribución vertical de estos organismos.

Se plantean como objetivos: a) estimar la densidad y biomasa estacional de los oligoquetos megadriilos en los sistemas: ganadero orgánico, fertilizado, agrícola convencional y natural y b) estudiar la distribución vertical y actividad de la población en relación con los factores edáficos y ambientales.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo desde octubre de 1998 a diciembre de 1999 en la Unidad Integrada Balcarce (Fac. Cs. Agrarias, UNMdP y EEA Balcarce, INTA, Argentina) a 37° 45' S, 58° 18' O en un suelo Hapludol Tpto Árgico (Covacevich, Echeverría 2000). En este período se registraron niveles bajos de precipitaciones 783 mm comparados con la mediana obtenida en los últimos 20 años de 1129 mm. La cantidad de precipitación fue mayor en marzo y julio, totalizando 95 y 137

mm respectivamente, mientras que desde diciembre de 1998 a febrero de 1999 y durante noviembre-diciembre de 1999 tan sólo se alcanzaron 88 y 116 mm, respectivamente. Durante el otoño-invierno la temperatura media semanal del suelo, a 5 cm, fue baja, alcanzando un valor mínimo de 7,3° C en julio, mientras que en verano, el máximo fue de 26,5° C en enero (registros aportados por la Estación Meteorológica de la EEA Balcarce, INTA).

Los sistemas estudiados fueron:

Sistema natural (N): constituido por una pastura de 20 años, compuesta de pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), falaris (*Phalaris aquatica*), festuca (*Festuca arundinacea*) y trébol blanco (*Trifolium repens*).

Sistema ganadero orgánico (GO): constituido por una pastura compuesta de pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), falaris (*Phalaris aquatica*), festuca (*Festuca arundinacea*), raigrás perenne (*Ryegrass perenne*) y alfalfa (*Medicago sativa*). Entre 1993 y 1996 la pastura se utilizó para la producción de carne bovina ecológica con pastoreos continuos y rotativos y luego se mantuvo sin uso ganadero como sistema orgánico. Las malezas se controlaron mecánicamente y no se utilizaron agroquímicos.

Sistema ganadero fertilizado (GF): consistió en una pastura compuesta de una mezcla de cebadilla criolla (*Bromus catharticus*), raigrás perenne (*Ryegrass perenne*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*). Se utilizó un sistema de labranza convencional con aplicación de bromoxinil más 2-4DB para el control de malezas y no se aplicaron insecticidas ni fungicidas. La pastura fue fertilizada con fosfato diamónico en las siguientes dosis: 250 kg ha⁻¹ en 1994 y 150 kg ha⁻¹ en 1995 y 1996 y el destino de la pastura fue ganadero con manejo de pastoreo en franjas rotativas.

Sistema agrícola convencional (AC): fue un lote que desde 1996 presentó la siguiente rotación de cultivos: trigo (*Triticum aestivum*) 1996/97, maíz (*Zea mays*) 1997/98, girasol (*Helianthus annuus*) 1998/99 y avena (*Avena sativa*) 1999. En el cultivo de trigo, el control de malezas se realizó mediante la

aplicación de dicamba más metsulfuron metil y fue fertilizado con 100 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico y 120 kg ha⁻¹ de urea. En el cultivo de maíz se aplicaron 4 l ha⁻¹ de atrazina más acetoclor y 120 cc ha⁻¹ de lambdacialotrina. La fertilización del cultivo se realizó con 80 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico y 180 kg ha⁻¹ de urea. En el cultivo de girasol se aplicó una mezcla de flurocloridona más acetoclor a razón de 2 l ha⁻¹ y 150 cc ha⁻¹ del insecticida lambdacialotrina. En el cultivo de avena no se aplicaron plaguicidas ni fertilizantes.

Se utilizó la caracterización química y biológica de los suelos de los sistemas GO, GF y AC de Covacevich, Echeverría (2000)

En cada sistema se tomaron 10 muestras de suelo siguiendo una transecta de 50 metros lineales de origen y dirección aleatoria, método estándar TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), excepto en el primer muestreo en el que se tomaron 20 muestras. Las fechas de muestreos fueron las siguientes (Tabla 1).

Cada muestra consistió en una porción de suelo de 0,25 x 0,25 x 0,30 m de profundidad, que se dividió en tres estratos de 10 cm cada uno. En cada muestreo se determinó la humedad del suelo de cada uno de los tres estratos en el Laboratorio de Análisis de suelos de la EEA Balcarce, INTA.

Las muestras fueron tamizadas con 2 tamices de 10 y 2,5 mm. Los elementos groseros y restos vegetales se separaron con el tamiz de malla mayor, quedando en el tamiz de malla menor las lombrices de mayor diámetro. Luego de tamizar, el suelo quedó lo suficientemente desagregado como para permitir la separación manual de los ejemplares, los que fueron clasificados en tres categorías: cocones, juveniles y adultos.

La presencia del clitelo permitió diferenciar los ejemplares adultos (Gerard 1967) y las fracciones se consideraron como individuos sólo cuando correspondían a la porción cefálica (Blair *et al.* 1996). Los ejemplares fueron fijados en una solución de formol 5%.

La biomasa se determinó como peso seco libre de cenizas (PSLC). Para obtener el PS, las muestras se secaron en una estufa a 60° C durante

Tabla 1. Sistemas y fechas de muestreo en cuatro sistemas de producción.

Table 1. Sampling dates at four production systems.

Sistema	1998 (n =20)		1999 (n =10)		
	Primavera		Otoño	Invierno	Verano
GO	13/10		16/03	31/05	15/11
GF	13/10		24/03	29/06	28/12
AC	13/10		06/04	28/07	06/12
N	-----		10/03	06/08	17/12

Tabla 2. Densidad estimada (ind m⁻²) de oligoquetos megadrilos adultos y juveniles en los sistemas ganadero orgánico (GO), ganadero fertilizado (GF), agrícola convencional (AC) y natural (N) durante cuatro estaciones.

Table 2. Adults and juveniles earthworms density (ind m⁻²) in organic livestock (GO), fertilizer livestock (GF), conventional agriculture (AC) and natural (N) during four seasons.

	Oligoquetos megadrilos (ind m ⁻²)											
	GO			GF			AC			N		
	Total	Ad	Juv	Total	Ad	Juv	Total	Ad	Juv	Total	Ad	Juv
Primavera	278	275	3	506	506	0	89	80	9		s/d*	s/d*
Otoño	112	86	26	616	562	54	34	28	6	198	120	78
Invierno	74	72	2	516	416	100	68	50	18	46	32	14
Verano	108	54	54	30	10	20	34	16	18	174	58	116
Total	572	487	85	1668	1494	174	225	174	51	418	210	208

* s/d= sin datos

48 horas y para el cálculo de PSLC, las muestras se colocaron en crisoles que se introdujeron en una mufla durante 4 horas a 500° C con el fin de obtener las cenizas.

Se determinó la densidad de los adultos como número de individuos por m² (ind m⁻²) y biomasa de los individuos adultos y juveniles como gramos de peso seco libre de cenizas PSLC (g m⁻²). La densidad de cocones no se determinó debido al escaso número hallado.

La densidad fue caracterizada mediante estadísticos y gráficos descriptivos y los cambios en la misma, se analizaron mediante modelos lineales generalizados, asumiendo una distribución binomial negativa. En el caso de detectar diferencias se utilizaron contrastes tipo Bonferroni (Mc. Cullagh, Nelder 1989). Los datos de biomasa se analizaron mediante análisis de varianza. Cuando se detectaron diferencias se utilizó el test de Tukey. Para caracterizar la distribución vertical de los individuos se construyeron intervalos del 95% de confianza que estimaron la diferencia en la proporción de individuos de la población según los distintos estratos. Se considera que no hay diferencias significativas entre las proporciones cuando el intervalo de confianza contiene al cero (Mendenhall, Sincich 1997).

RESULTADOS Y DISCUSION

La densidad varió de 30 individuos (ind m⁻²) en verano a 616 ind m⁻² en otoño (Tabla 2). De los cuatro sistemas estudiados la mayor densidad correspondió a GF, con 1668 ind m⁻², GO y N presentaron 572 y 418 ind m⁻², respectivamente y AC tuvo la menor abundancia, con 225 ind m⁻². Estas observaciones son consistentes con las de Rovira *et al.* (1987) quienes comprobaron un incremento de las poblaciones en los sistemas menos laboreados.

Baker *et al.* (1992) encontraron, en el

sur de Australia, una situación similar respecto a los datos presentados en la Tabla 2. De 113 localidades muestreadas, en muy pocas hallaron densidades moderadamente altas (>400 ind m⁻²) y en la mayoría obtuvieron pocos individuos (<200 ind m⁻²). Lo mismo ocurrió en suelos de la estepa pampeana argentina con densidades que no superaron los 262 ind m⁻² (Momo *et al.* 1993).

En coincidencia con Mele y Carter (1999) cuyos resultados mostraron predominio de la densidad de adultos, en este trabajo de un total de 2883 individuos, 2365 fueron adultos y 518 juveniles.

El análisis estadístico de la densidad de adultos (ind m⁻²) mostró una interacción significativa entre sistema y estación (p<0,05).

Cuando se compararon las densidades de adultos entre los sistemas para cada estación (Figura 1), se observó que durante la primavera, otoño e invierno GF presentó un número significativamente mayor de adultos (506, 562 y 416 ind m⁻², respectivamente) que en los demás sistemas. En primavera y otoño la densidad en AC fue la más baja, 80 y 28 ind m⁻² respectivamente, debido a las labores agrícolas que se efectuaron previas a la implantación de los cultivos de girasol y avena. En cambio, en el verano, la densidad en AC (16 ind m⁻²) no difirió significativamente de la de GF (10 ind m⁻²) ni de las de N y GO, que presentaron las mayores densidades (54 y 58 ind m⁻², respectivamente). Entre N y GO no se detectaron diferencias significativas en la densidad en ninguna de las estaciones evaluadas. Para esta variable Parmelee y Crossley (1988) establecieron que en los sistemas menos disturbados

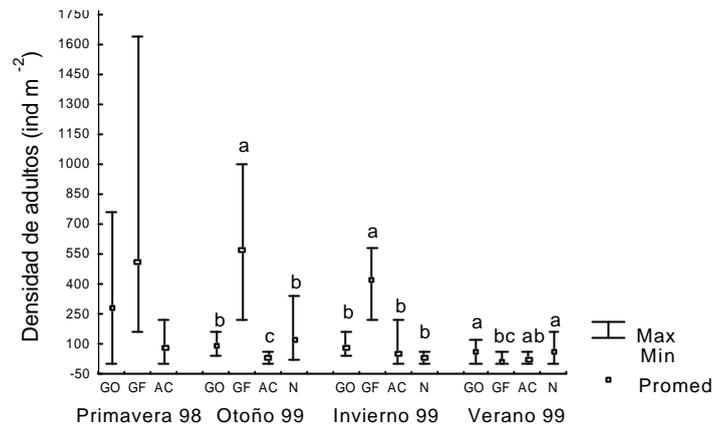


Figura 1. Densidad estacional de adultos en los sistemas GO, GF, AC y N. Letras iguales entre sistemas dentro de cada estación corresponden a diferencias no significativas ($p > 0,05$).

Figure 1. Seasonal density of adults in GO, GF, AC and N. Equal letters between systems in each season indicate not significant differences ($p > 0.05$).

los adultos intervienen en la dinámica del nitrógeno, transfiriendo el N desde los residuos orgánicos hacia el conjunto de minerales y reincorporando al suelo sustancias nitrogenadas con sus deyecciones, orina (amonio, urea), mucoproteínas y con sus propios tejidos cuando se mueren (Blair *et al.* 1997).

Coincidiendo con lo reportado por Hendrix *et al.* (1992) respecto a la densidad de adultos, se obtuvieron en GO y N valores intermedios de la densidad con respecto a los sistemas más disturbados, ya sea por el tipo de manejo convencional como en AC (densidad mínima), ó por la utilización intensiva del

nitrógeno como en GF (máxima densidad). Este último resultado fue confirmado con el obtenido por Shakir y Dindal (1997), en uno de los sitios que ellos estudiaron, caracterizado por un impacto antrópico muy marcado y por la implantación de varias especies de Poaceas (Gramíneas). Estos autores obtuvieron valores de densidad de 530 ind m⁻² cercanos a los presentados en esta experiencia debido a las dosis altas de nitrógeno aplicadas como fertilizante y a que la cantidad y calidad del alimento disponible poseía una composición adecuada en residuos orgánicos. Las Poaceas por ejemplo, producen residuos orgánicos más

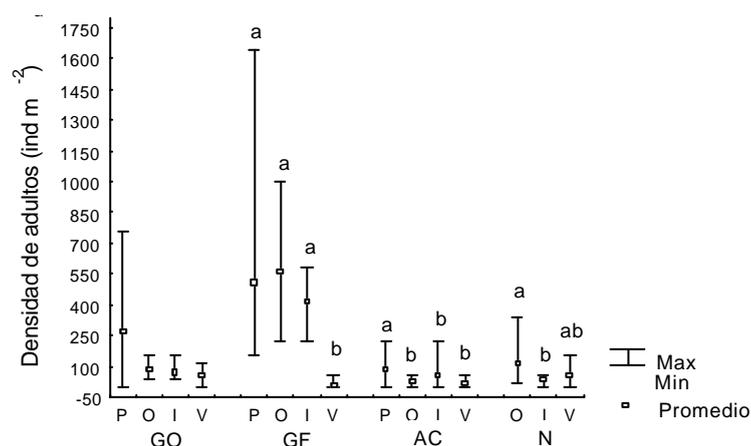


Figura 2. Densidad estacional de adultos en los sistemas GO, GF, AC y N. Letras iguales entre estaciones dentro de cada sistema corresponden a diferencias no significativas ($p > 0,05$).

Figure 2. Seasonal density of adults in GO, GF, AC and N. Equal letters between seasons in each system indicate not significant differences ($p > 0.05$).

palatables para las lombrices porque contienen un porcentaje alto de N y una relación C:N muy baja (Cuendet 1984).

De manera análoga a lo realizado por Momo *et al.* (1993) los valores menores de densidad correspondieron a AC. Una posible explicación a esta disminución numérica podría ser que las labores agrícolas maten a las lombrices por daño físico, reducción en el contenido de agua del suelo o por exposición de estos organismos a la acción de las aves predatoras. No obstante, Buckerfield y Wiseman (1997) probaron que en los años siguientes a un cultivo de papa, la población de lombrices aumentó, confirmando que los disturbios físicos y químicos ocasionados por las prácticas de manejo utilizadas en el cultivo se compensaron con la materia orgánica incorporada desde el cultivo de papa. Por otra parte los herbicidas utilizados en el cultivo incrementaron la densidad de las lombrices debido a que el agroquímico estimula el desarrollo de los microorganismos que constituyen su alimento (Mele, Carter 1999).

La densidad en cada uno de los sistemas presentó diferencias significativas entre las estaciones ($p < 0,05$). Como se observa en la Figura 2 en GF durante la primavera, otoño e invierno se obtuvieron valores superiores a los 400 ind m², disminuyendo a 10 ind m² hacia el verano. Por el contrario, en AC y GO la mayor densidad se registró en primavera, con 80 y 275 ind m² respectivamente, y disminuyó significativamente en las otras estaciones. En N, la densidad mayor se observó en otoño con 120 ind m², decreció en invierno para aumentar en el verano a 58 ind m².

La biomasa total fue de 460,24 g, desde marzo a diciembre de 1999. La mayor parte correspondió a GF con 290,26 g. GO y N presentaron valores similares 70,15 y 64,76 g respectivamente, mientras que AC presentó la biomasa menor, 35,06 g.

El análisis de varianza correspondiente a la biomasa (g m²) mostró interacción significativa entre sistemas y estaciones ($p < 0,05$).

La Tabla 3 muestra las comparaciones de la biomasa para los sistemas dentro de cada estación y las comparaciones de la biomasa para las estaciones dentro de cada sistema.

GF fue el único sistema en el cual se detectaron diferencias estacionales significativas. En otoño e invierno se observó la mayor biomasa diferenciándose significativamente del resto de los sistemas, en tanto que en el verano, no hubo diferencias significativas con los otros sistemas (Figura 3).

En coincidencia con Yeates *et al.* (1998) la variación de la biomasa estuvo relacionada con el manejo del suelo, siendo mayor en las pasturas que en los sistemas sometidos a agricultura continua. Resultados similares obtuvieron Buckerfield *et al.* (1997) observando que la menor biomasa estuvo asociada de manera significativa a la agriculturización, sobre todo, a las labranzas y a los cultivos antecesores.

En cuanto al comportamiento de la biomasa (Figura 3) se coincide con Hendrix *et al.* (1992) en la estacionalidad en los sistemas independientemente del grado de disturbio. De ahí que en GO y GF los valores máximos ocurrieron durante otoño e invierno, y los mínimos en verano, debido a las temperaturas altas y escasa humedad del suelo. Esta observación

Tabla 3. Biomasa promedio (g m⁻²) de los oligoquetos megadrilos en los sistemas GO, GF, AC y N durante tres estaciones.

Table 3: Earthworms average biomass (g m⁻²) in GO, GF, AC and N during three seasons.

	Oligoquetos megadrilos (g m ⁻²)			
	GO	GF	AC	N
Otoño	2,494 a B	13,148 a A	0,763 a B	2,552 a B
Invierno	2,929 a B	15,656 a A	2,135 a B	1,707 a B
Verano	1,591 a A	0,222 b A	0,608 a A	2,217 a A

*Letras minúsculas iguales por columna corresponden a diferencias no significativas ($p > 0,05$).

**Letras mayúsculas iguales por filas corresponden a diferencias no significativas ($p > 0,05$).

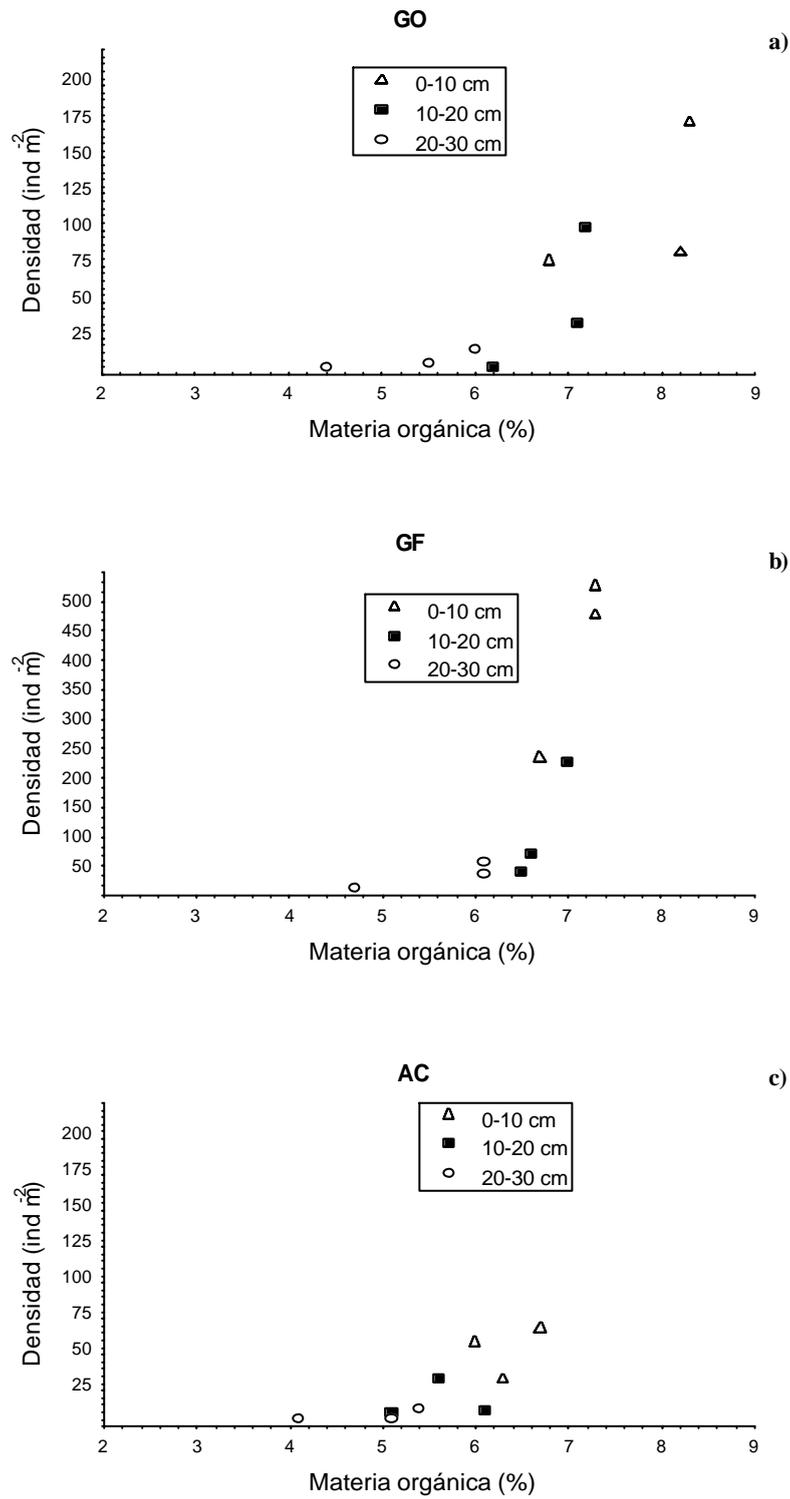


Figura 3. Densidad (ind m⁻²) de los oligoquetos megadrilos y contenido de materia orgánica (%) a distintas profundidades en a) GO, b) GF y c) AC.

Figure 3. Earthworm density (ind m⁻²) and organic matter (MO) content under different depth in a) GO, b) GF and c) AC.

Tabla 4. Proporciones estimadas e intervalos de confianza (IC) para la diferencia entre las proporciones de oligoquetos megadrilos hallados entre 0-10 y 10-30 cm de profundidad en cada sistema y estación.
Table 4. Estimate proportions and confidence intervals (IC) on the difference in earthworms proportions at 0-10 and 10-30 cm depth in each season and sites.

Sistema	Estación	Profundidad		IC95%
		0-10 cm	10-30 cm	
GO	Primavera	0,6115	0,3885	(0,1084 ; 0,3376) *
	Otoño	0,7143	0,2857	(0,1919 ; 0,6652) *
	Invierno	1	0	
	Verano	0,4074	0,5926	(- 0,4473 ; 0,0769)
GF	Primavera	0,4565	0,5435	(- 0,0002 ; - 0,1738) *
	Otoño	0,8474	0,1526	(0,6145 ; 0,7751) *
	Invierno	0,9186	0,0814	(0,7705 ; 0,9039) *
	Verano	0,1333	0,8667	(-1 ; - 0,3893) *
AC	Primavera	0,6067	0,3933	(0,0105 ; 0,4165) *
	Otoño	0,8235	0,1765	(0,2846 ; 1) *
	Invierno	0,9412	0,0588	(0,7242 ; 1) *
	Verano	0,3529	0,6471	(- 0,7485 ; 0,4165)
N	Otoño	0,5657	0,4343	(- 0,0640 ; 0,3266)
	Invierno	0,913	0,087	(0,5958 ; 1) *
	Verano	0,5172	0,4828	(- 0,1755 ; 0,2445)

* indica diferencias significativas entre las proporciones ($\alpha=0,05$).

coincide con lo reportado por Curry y Byrne (1992) quienes determinaron que la biomasa aumenta hacia el invierno y disminuye bruscamente en el verano, como consecuencia de sequías estivales poco frecuentes.

En la mayoría de los sistemas, y especialmente durante otoño e invierno, los megadrilos se ubicaron en los primeros 10 cm de suelo (Tabla 4). En cambio, en el verano, la proporción de individuos en GF fue mayor entre los 10-30 cm y en GO, AC y N las proporciones no difirieron entre sí. Estos resultados explican claramente que la dinámica poblacional de estos organismos resulta de la interacción de factores ambientales (precipitaciones y temperatura), con las características edáficas, prácticas de manejo y disponibilidad del recurso alimenticio (Valle *et al.* 1997).

El efecto combinado de la temperatura del suelo y el déficit de lluvias, produjo un modelo de distribución vertical con una variación estacional marcada. Sin ninguna duda este modelo confirma la preferencia de las lombrices por los suelos húmedos, observándose que durante el otoño-invierno los megadrilos se ubicaron en el primer estrato (10 cm), mientras que en el verano, cuando las temperaturas

medias fueron superiores a 20° C y las precipitaciones escasas, se desplazaron hacia los estratos más profundos. No obstante se observó que en N y GO este comportamiento fue menos marcado debido al desarrollo de una densa vegetación herbácea que protegió al suelo de la sequía y temperaturas extremas, atenuando el efecto de las características climáticas locales.

Con la caracterización química y biológica de los suelos bajo los sistemas estudiados en esta experiencia se observó que, la densidad de los megadrilos fue diferente en cada sistema en relación con el contenido de MO (Figura 3). En general la densidad en GO y GF aumentó a partir de un 6% de MO. Esta relación se acentuó en GF debido, posiblemente, a que los fertilizantes aumentaron la cantidad de nutrientes promoviendo el desarrollo de la microflora, alimento principal de las lombrices.

No se observó una relación evidente entre la densidad de las lombrices y los restantes factores edáficos.

CONCLUSIONES

a) La población de megadrilos presentó predominio de adultos y su densidad mostró

interacción significativa entre sistema y estación.

- b) Se obtuvieron valores intermedios de la densidad en los sistemas menos disturbados, mientras que en los más disturbados, tanto por la utilización intensiva del nitrógeno como por el manejo convencional, se registraron las densidades extremas: máxima (GF) y mínima (AC).
- c) En primavera, otoño e invierno la densidad de adultos fue mayor en GF debido a una producción alta de materia vegetal que adicionó residuos orgánicos al sistema. En AC, en primavera y otoño, cuando se realizaron las labores previas a la implantación de los cultivos de girasol y avena la densidad fue más baja.
- d) Debido a que las densidades registradas en GO y N no se diferenciaron significativamente, ambos sistemas constituirían, desde el punto de vista ecológico, ambientes potencialmente maduros con cierta estabilidad.
- e) La biomasa mayor se registró en GF en otoño e invierno en coincidencia con el mayor número de individuos.
- f) Con la humedad y frío registrados en otoño e invierno, los megadrilos se ubicaron en los primeros 10 cm de suelo, mientras que en el verano con escasa humedad y temperaturas medias superiores a 20 °C se desplazaron a más profundidad. La densidad en GO y GF aumentó a partir de un 6 % de MO registrado a 10 cm.

AGRADECIMIENTOS

Al ayudante Antonio Riero y a la tesista de grado Verónica Vaquero por su colaboración activa en el desarrollo del trabajo y al Dr. Eliseo Chaves por la lectura crítica del manuscrito.

REFERENCIAS

- Baker G, Buckerfield J, Grey-Gardner R, Merry R, Doube B. 1992. The abundance and diversity of earthworms in pasture soils in the Fleurieu peninsula, South Australia. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1389-1395.
- Blair JM, Bohlen PJ, Freckman DW. 1996. Soil invertebrates as indicators of soil quality. pp. 273-291. En: Doran JW, Jones J eds. *Methods for assessing soil quality*. SSSA Spec. Public. 49., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Blair JM, Parmelee RW, Allen MF, McCartney DA, Stinner BR. 1997. Changes in soil N pools in response to earthworm population manipulations in agroecosystems with different N sources. *Soil Biol. Biochem.* 29: 361-367.
- Buckerfield JC, Lee KE, Davoren CW, Hannay JN. 1997. Earthworms as indicators of sustainable production in dryland cropping in southern Australia. *Soil Biol. Biochem.* 29: 547-554.
- Buckerfield JC, Wiseman D. 1997. Earthworm populations recover after potato cropping. *Soil Biol. Biochem.* 29: 609-612.
- Cihacek LJ, Anderson WL, Barak PW. 1996. Linkages between soil quality and plant, animal, and human health. pp. 9-23. En: Doran JW, Jones J eds. *Methods for assessing soil quality*. SSSA Spec. Public. 49., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Covacevich F, Echeverría HE. 2000. Caracterización química y biológica de un Hapludol bajo diferentes manejos. *Ciencia del Suelo* 18:144-148.
- Cuendet G. 1984. A comparative study of the earthworm population of four different woodland types in Wytham Woods, Oxford. *Pedobiologia* 26: 421-439.
- Curry JP, Byrne D. 1992. The role of earthworms in straw decomposition and nitrogen turnover in arable land in Ireland. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1409-1412.
- Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and assessing soil quality. pp. 3-21. En: Doran JW., Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA. eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Spec. Public. 35. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Gerard BM. 1967. Factors affecting earthworms in pastures. *J. Anim. Ecol.* 36: 235-252.
- Hendrix PF, Mueller BR, Bruce RR, Langdale GW, Parmelee RW. 1992. Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont, U.S.A. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1357-1361.
- Lavelle P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. *Adv. in Ecol. Res.* 27: 93-132.
- Mc. Cullagh P, Nelder JA. 1989. *Generalized linear models*. Chapman and Hall eds. Cambridge, Great Britain. 541pp.
- Mele PM, Carter MR. 1999. Impact of crop management factors in conservation tillage farming on earthworm density, age structure and species abundance in south-eastern Australia. *Soil and Till. Res.* 50: 1-10.
- Mendenhall W, Sincich T. 1997. Pruebas de hipótesis. pp. 421-493. En: *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México.
- Momo FR, Giovanetti CM, Malacalza L. 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.
- Parmelee RW, Crossley DA. 1988. Earthworm production and role in the nitrogen cycle of a no-tillage agroecosystem on the Georgia Piedmont. *Pedobiologia* 32: 355-361.
- Rovira AD, Smettem KRJ, Lee KE. 1987. Effects of rotation and conservation tillage on earthworms in a Red-brown earth under wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 829-834.
- Shakir SH, Dindal D. 1997. Density and biomass of earthworms in forest and herbaceous microecosystems in Central New York, North America. *Soil Biol. Biochem.* 29: 275-285.
- Valle JV, Moro RP, Garvin MH, Trigo D, Diaz Cosin DJ. 1997. Annual dynamics of the earthworm *Hormogaster elisae* (Oligochaeta, Hormogastridae) in Central Spain. *Soil Biol. Biochem.* 29: 309-312.
- Yeates GW, Sheperd TG, Francis GS. 1998. Contrasting response to cropping of populations of earthworms and predacious nematodes in four soils. *Soil and Till. Res.* 48: 255-264.