

Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo

Zerbino, S.¹; Altier, N.²; Morón, A.¹ y Rodríguez, C.³

¹INIA La Estanzuela, Ruta 50 km 11, Colonia, Uruguay.

²INIA Las Brujas, Ruta 48 km 10, Canelones, Uruguay.

³Facultad de Ciencias, UdelaR, Iguá 4225 Esq. Mataojo C.P. 11400, Montevideo, Uruguay.

Correo electrónico: szerbino@inia.org.uy.

Recibido: 16/8/07 Aprobado: 26/9/08

Resumen

La estructura y el funcionamiento del suelo son afectados, directa o indirectamente, por la macrofauna que lo habita. Las comunidades presentes están determinadas por el manejo que se realiza. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de cinco intensidades de uso del suelo en siembra directa y con pastoreo sobre la riqueza y densidad de la macrofauna del suelo. El control fue un área adyacente de campo natural sin fertilizar. La intensidad de uso de suelo fue determinante en los resultados obtenidos. El campo natural se caracterizó por el predominio de los herbívoros, por tener la menor riqueza y densidad de detritívoros y depredadores y por ser el uso del suelo con los mayores valores de riqueza y densidad de la mayoría de las familias del Orden Coleoptera. En los usos del suelo que implicaron un reemplazo total de la vegetación natural, se produjeron cambios en la proporción de los grupos funcionales y en la composición de las comunidades. En los tratamientos menos intensivos, predominaron las especies detritívoras. Los depredadores fueron el grupo funcional menos abundante en todos los usos del suelo y hubo un incremento en la riqueza y densidad relativa a medida que el uso del suelo fue más intensivo. La evaluación de la macrofauna del suelo conjuntamente con las propiedades del mismo, puede ser una herramienta útil para evaluar la sustentabilidad de las innovaciones tecnológicas que se proponen para el manejo de suelos y cultivos.

Palabras clave: macrofauna del suelo, propiedades del suelo, siembra directa, rotaciones cultivos-pasturas, sustentabilidad

Summary

Soil macrofauna in production systems under no tillage and grazing

Soil key processes are mediated by soil inhabitant organisms. Particularly, soil macrofauna play a key role in the preservation of soil structure and fertility. Agricultural practices are major determinants of the structure of soil macrofauna communities. This study assessed the effect of different land uses on the richness and abundance of soil macrofauna. The intensity of land use was the key determinant of our results. The natural grassland control area showed a prevalence of herbivores, as well as the lowest richness and density of detritivores and predators. Besides, it was the land use with the highest values of richness and density of the families within Order Coleoptera. In the four land uses where plant canopy is totally replaced, the composition of soil communities differed from the control area and the proportion of functional groups was affected. In the least intense uses of land, detritivores species prevailed. Predators were the least abundant functional group in all land uses, although a relative increase in richness and density was associated with land use intensity. We concluded that the evaluation of soil macrofauna can be used as indicator of sustainability for the proposed soil and crop management technologies.

Key words: crop-pasture rotations, no tillage, soil macrofauna, soil properties, sustainability

Introducción

Los diversos organismos que habitan en el suelo están ensamblados en intrincadas comunidades que colectivamente contribuyen con un amplio rango de servicios esenciales para el funcionamiento sustentable de los ecosistemas: intervienen en los ciclos de nutrientes, regulan la dinámica de la materia orgánica y la emisión de gases invernadero, secuestran carbono, modifican la estructura física del suelo y actúan sobre el régimen del agua y la erosión (Anderson, 1994; Pankhurst, 1997).

La trama trófica del suelo está organizada en niveles de acuerdo al tamaño y los hábitos de los individuos y se basa fundamentalmente en las relaciones entre los microorganismos y los invertebrados. Este último grupo está integrado por individuos con diferente tamaño corporal y que poseen distintas estrategias de movilidad y tipo de alimentación, lo cual determina el modo en que intervienen en los procesos del suelo (Linden *et al.*, 1994). Los de mayor tamaño (ancho del cuerpo mayor a 2 mm), constituyen la macrofauna, que se destaca porque a través de sus actividades participa en los procesos ecosistémicos fundamentales. Los integrantes de este grupo, se caracterizan porque operan en escalas de tiempo y espacio más amplias que los individuos más pequeños, tienen ciclos biológicos largos (un año o más), baja tasa reproductiva, movimientos lentos y poca capacidad de dispersión (Gassen y Gassen, 1996). Desde el punto de vista de la alimentación, se reconocen tres grupos funcionales: aquellas especies que se alimentan de las partes vivas de las plantas (herbívoros), las que consumen animales vivos (depredadores) y las que se alimentan de materia orgánica no viva de origen animal y vegetal, de los microorganismos asociados, de heces de vertebrados e invertebrados, así como de compuestos producto del metabolismo de otros organismos (detritívoros) (Brown *et al.*, 2001; Moore *et al.*, 2004).

Las interacciones bióticas entre estos grupos funcionales intervienen en la regulación de los procesos edáficos (FAO, 2001; Moore *et al.*, 2004; Price, 1988). La herbivoría realizada por invertebrados establece la cantidad y calidad de recursos que ingresan al suelo, lo que afecta a los individuos detritívoros y depredadores (Wardle y Bardgett, 2004). A su vez las características de las comunidades detritívoras tiene efectos sobre los ciclos de nutrientes, y en consecuencia sobre los productores primarios y los consumidores (herbívoros y depredadores) (Moore *et al.*, 2004). Por otra parte, los depredadores pueden ejercer importantes efectos en la producción primaria neta y en la descomposición, lo cual a su vez tiene implicancias a nivel de las comuni-

dades y de los ecosistemas (Masters, 2004; Wardle y Bardgett, 2004).

Desde el momento que un sistema natural es modificado para desarrollar actividades agrícolas, los mayores cambios ocurren en las propiedades del suelo y en su biota asociada. Las comunidades presentes van a estar determinadas por la intensidad del cambio inducido respecto al ecosistema natural y por la habilidad de los organismos para adaptarse a esos cambios. En particular, la macrofauna del suelo responde al manejo en escalas de tiempo de meses o años, por lo que ha sido destacada por su potencial como indicador biológico (Lavelle y Spain, 2001).

El método de preparación del suelo es la práctica de manejo que tiene los mayores efectos en la distribución y abundancia de los organismos que lo habitan (Brown *et al.*, 2001). La siembra directa, como resultado de la falta de movimiento y la presencia de rastrojo en superficie, modifica el ambiente de la parte más superficial del perfil. El contenido de materia orgánica aumenta, la estructura física del suelo mejora, la capacidad de almacenar agua es mayor y las variaciones de la temperatura del suelo son menores (Brown *et al.*, 2001; Gassen y Gassen, 1996).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la riqueza y densidad de la macrofauna edáfica y explorar las relaciones que existen con las propiedades del suelo y las características de los residuos en distintos sistemas de rotación en siembra directa y con pastoreo.

Materiales y métodos

Descripción del experimento

En la Unidad Experimental de "Palo a Pique" (UEPP) de INIA Treinta y Tres, en 1995 fue instalado un experimento de larga duración en el cual se evalúan cuatro intensidades de uso del suelo en siembra directa y con pastoreo: Cultivo continuo (CC): siembra de dos cultivos forrajeros por año (*Avena sativa*, *Lolium multiflorum* o *Trifolium alexandrinum* en invierno; *Sorghum bicolor* o *Setaria italica* en verano); Rotación Corta (RC): 2 años de doble cultivo ídem CC y 2 años de pradera artificial (*Trifolium pratense* y *Lolium multiflorum*); Rotación Larga (RL): 2 años de doble cultivo ídem CC y 4 años de pradera artificial (*Trifolium repens*, *Lotus corniculatus*, *Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea*); Mejoramiento de pasturas (MP): pradera artificial permanente (*Trifolium repens*, *Lotus corniculatus* y *Lolium multiflorum*) renovada cada 3 ó 4 años.

El experimento cuenta con todos los componentes de las rotaciones al mismo tiempo, es decir que RL está compuesta por seis parcelas, RC por cuatro parcelas y CC y MP una parcela respectivamente, por lo que el ensayo totaliza 12 parcelas de 6 ha, que fueron asignadas en forma aleatoria a las distintas unidades experimentales al inicio del experimento. Alrededor del experimento existe un área de campo natural regenerado (CN), la cual fue considerada el control.

Los suelos donde se encuentra ubicado el experimento son argisoles y planosoles y se diferencian por la presencia o no de un horizonte Albico de pocos centímetros (Terra y García, 2001).

Muestreo de macrofauna

El método de muestreo de la macrofauna del suelo utilizado fue similar al recomendado por el Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) (Anderson y Ingram, 1993). El área de la unidad básica de muestreo fue de 25 cm de lado por 20 cm de profundidad.

En cada una de las unidades experimentales fueron realizadas 15 unidades básicas de muestreo. Los artrópodos colectados en cada unidad de muestreo fueron conservados en alcohol 70 % y los oligoquetos en formol 4 %. En el laboratorio fueron separados de acuerdo a su morfología (morfoespecies). Los muestreos fueron realizados en los meses de abril y setiembre.

Rastrojo

En cada unidad básica de muestreo fueron colectados los residuos de la superficie para formar una muestra compuesta. En el Laboratorio de Calidad de Forrajes de INIA La Estanzuela se realizaron las siguientes determinaciones: peso por unidad de superficie, Fibra Detergente Neutra, Fibra Detergente Ácida, materia seca parcial, cenizas y materia orgánica que resulta de la diferencia entre materia seca parcial y cenizas (Cuadro 1). La materia seca parcial se obtuvo por un proceso de secado en estufa de aire forzado a 60° C y las cenizas se obtuvieron por un proceso de incineración a 550° C durante tres horas.

Suelo

En cada parcela se analizó una muestra compuesta por 45 tomas de suelo, correspondiente a los 10 cm superiores del perfil del suelo. Las determinaciones realizadas en el Laboratorio de Suelos y Plantas de INIA La Estanzuela fueron: textura (Bouyoucos), conductividad eléctrica (Relación 1:1, Conductivímetro), Carbono orgánico (Tinsley), Nitrógeno total (Kjeldhal), Fósforo

Cuadro 1. Propiedades del suelo y de los residuos según uso del suelo, promedio de dos muestreos.

Uso del suelo	Suelo											Residuos							
	P µg P/g	pH	C.Org	N	Arena	Limo	Arcilla	Hum.	Ca	Mg	K	Na	CIC	D.A.	Peso (g/m ²)	MSP	Cen	FDN	FDA
					%	%				(meq/100 g)							%		
CC	19.3	5.6	1.7	0.18	43	33	24	17.04	5.80	2.65	0.20	0.44	13.1	1.25	105.8	79.0	63.5	75.6	58.1
RC	8.8	5.5	2.0	0.21	40	35	25	21.18	5.99	2.48	0.24	0.28	13.8	1.23	113.8	62.2	40.2	62.8	51.0
RL	7.5	5.6	2.3	0.23	41	35	24	19.73	6.48	2.63	0.29	0.26	14.4	1.20	104.4	61.4	36.4	71.2	57.0
MP	4.4	5.9	2.3	0.24	42	36	22	24.00	7.85	3.05	0.31	0.24	15.0	1.17	96.2	42.4	20.9	72.0	54.4
CN	2.2	5.8	2.5	0.22	41	37	22	19.79	6.95	3.10	0.43	0.24	14.5	1.20	98.4	55.0	24.2	67.7	55.6

CC= Cultivo continuo; RC= Rotación corta; RL=Rotación larga; MP= Mejoramiento permanente; CN= Campo natural.
P- Fósforo; C.Org-Carbono Orgánico; N-Nitrógeno Total; Hum- Humedad; Ca- Calcio; Mg- Magnesio; K- Potasio; Na- Sodio; CIC- Capacidad Intercambio Catiónico; DA- Densidad Aparente; MSP- Materia Seca Parcial de los residuos; Cen- cenizas; FDA - Fibra Detergente Ácida; FDN-Fibra Detergente Neutra.

disponible (Bray I), materia orgánica particulada (POM), pH en agua, acidez titulable ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$), Ca y Mg (acetato de amonio pH 7 y absorción atómica), K y Na (acetato de amonio pH 7 y emisión atómica), capacidad de intercambio catiónico CIC pH7 (Bases + Acidez titulable) y biomasa microbiana. Para la determinación de densidad aparente se tomaron en tres puntos de cada parcela muestras a 0-10 cm de profundidad, en las cuales también se determinó humedad (Cuadro 1).

Análisis de datos

Las morfoespecies identificadas fueron clasificadas en unidades taxonómicas, que según el caso corresponden a nivel de Clase, Sub-Clase, Orden y/o Familia y luego fueron agrupadas de acuerdo a su comportamiento alimenticio en tres grupos funcionales: herbívoros, detritívoros y depredadores.

La riqueza (n° de morfoespecies/ 0.0625 m^2) y la densidad (n° de individuos/ m^2) de los distintos grupos funcionales y taxones fueron comparados mediante un análisis factorial de dos vías para evaluar el efecto de los tratamientos y del mes del muestreo. Estas variables discretas presentaron una importante asociación entre las medias y varianza de los tratamientos, por lo que fueron analizadas utilizando modelos lineales generalizados con distribución Poisson o binomial negativa y función logarítmica (Proc Genmod, SAS Inst, 1999). Se consideró el factor a = 13 (cada parcela componente del ensayo es un tratamiento) y el factor b = 2 (mes de muestreo). Las diferencias entre los cinco usos del suelo (CC, RC, RL, MP, y CN) fueron determinadas mediante contrastes.

Para explorar las relaciones entre la macrofauna y el hábitat, sólo se tuvieron en cuenta los datos de densidad. Se construyeron dos matrices. Una de ellas con las variables de las propiedades del suelo y las características del rastrojo de cada tratamiento. El método de ordenación utilizado fue el de Análisis de Componentes Principales (ACP). Los datos fueron estandarizados debido a que tienen distinta magnitud. La segunda matriz se construyó con los datos de densidad de la macrofauna, y el método de ordenación utilizado fue el Análisis de Correspondencias (COA). Los taxa que estuvieron poco representados (menos del 1% de la densidad) no fueron considerados. Los datos fueron transformados a Log (x+1).

Posteriormente, los resultados de la ordenación de ambas matrices (variables ambientales y de la macrofauna) se conectaron mediante un análisis de

CoInercia (COIA). Este tipo de análisis de dos tablas es la única manera de analizar las relaciones entre variables ambientales y biológicas cuando se consideran muchas variables en pocos sitios de muestreo (Dolédec y Chessel, 1994). Para este análisis no fueron considerados los insectos sociales, dado que el método de muestreo utilizado es inadecuado para estimar su densidad. La significación del análisis de CoInercia se determinó con el test de Monte Carlo. El software utilizado fue ADE-4 (Thioulouse *et al.*, 1997) incluido en el paquete R1.9 (R Development Core Team, 2004).

Resultados

En total fueron colectados 6325 individuos correspondientes a 164 morfoespecies. Los dos grupos más abundantes fueron Oligochaeta e Hymenoptera (principalmente hormigas), que representaron respectivamente 46 y 20% del total de individuos (Cuadro 2).

Riqueza

Los resultados de los análisis del estadístico de máxima verosimilitud indican que hubo efecto de los tratamientos en el número de morfoespecies colectadas en cada unidad de muestreo para el total general y de los grupos funcionales. Con excepción del grupo funcional herbívoros, hubo interacción entre tratamientos y mes de muestreo (Cuadro 3a).

Para la riqueza total, en los dos muestreos no hubo diferencias importantes entre los usos del suelo. Sólo RC en abril y MP en setiembre, que registraron respectivamente el menor y mayor valor, fueron diferentes del resto. La interacción tratamiento por mes de muestreo estuvo dada por el incremento de especies que se registró en MP en setiembre (Figura 1).

En CN se obtuvo la mayor riqueza de herbívoros en los dos momentos de muestreo, representando el 52 % del total de especies colectadas en este tratamiento (Figuras 1 y 2a). Los principales integrantes de este grupo pertenecen al Orden Coleoptera, en particular las familias Curculionidae, Scarabaeidae, Chrysomelidae y Elateridae (Cuadro 2).

El mayor número de especies detritívoras se registró en MP, en los dos momentos de muestreo. En este uso del suelo, representaron el 51 % del total de especies colectadas (Figuras 1 y 2a). Los taxones Oligochaeta, Isopoda y Scarabaeinae tuvieron la mayor riqueza. La interacción entre tratamientos y mes de muestreo fue debida al menor incremento registrado en setiembre, en el uso del suelo CC. En ninguna de las unidades

Cuadro 3. Estadístico de Máxima Verosimilitud de los efectos parcela, mes de muestreo e interacción para a) la riqueza (n° de morfoespecies/0.0625 m²) total y de los grupos funcionales y b) la densidad (número de individuos/m²) total y de los grupos funcionales.

a) Riqueza

Fuente de variación	g.l.	X^2			
		Total	Herbívoros	Detritívoros	Depredadores
Parcela	12	79.11***	129.49***	89.95***	40.81***
Mes de muestreo	1	37.02***	1.94	69.78***	3.13
Parcela x mes	12	36.15**	15.07	50.58***	39.04***

b) Densidad

Fuente de variación	g.l.	X^2			
		Total	Herbívoros	Detritívoros	Depredadores
Parcela	12	132.27***	177.60***	168.29***	49.74***
Mes de muestreo	1	27.23***	0.16	49.98***	2.38
Parcela x mes	12	64.85***	39.86***	57.01***	37.74**

*Pr > $X^2 \leq 0.05$

**Pr > $X^2 \leq 0.01$

***Pr > $X^2 \leq 0.001$

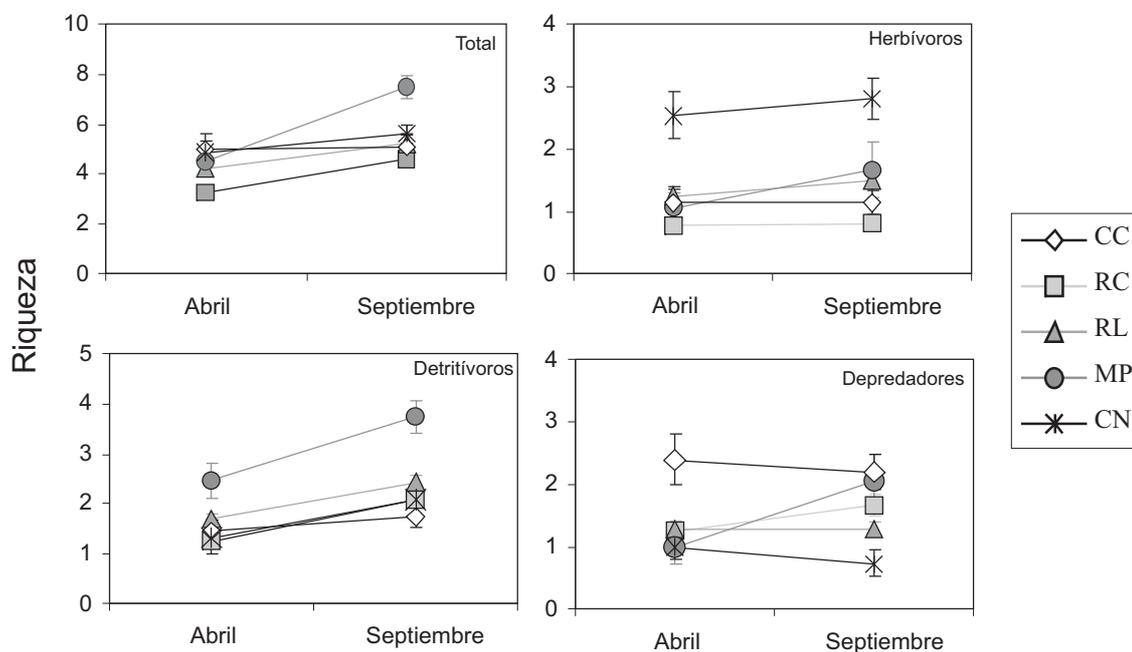


Figura 1. Riqueza (n° de morfoespecies/0.0625 m²) total y de los grupos funcionales en cada momento de muestreo según uso de la tierra. Los valores representan la media \pm 1ES.

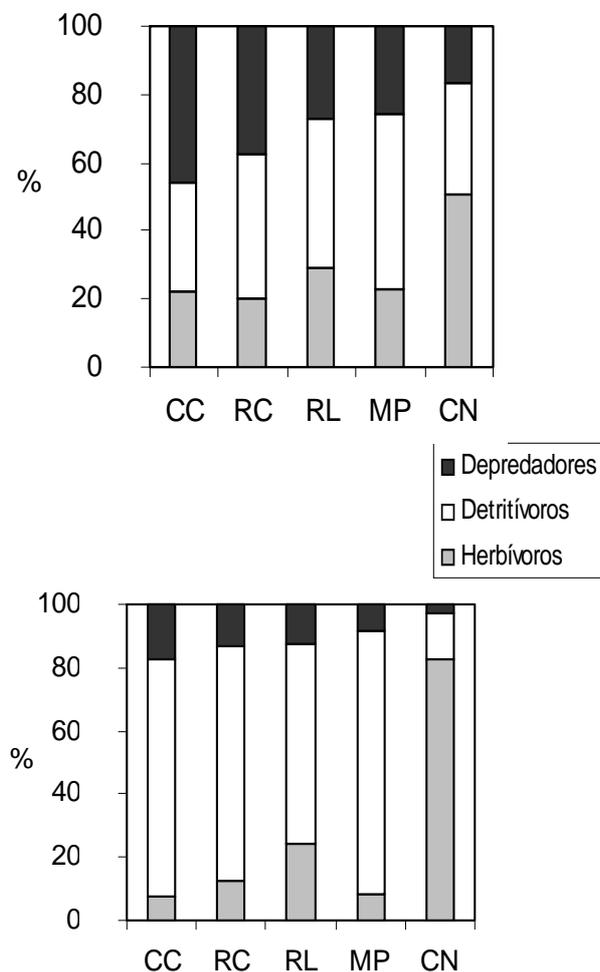


Figura 2. Importancia relativa de a) el número de morfoespecies y b) la densidad de los grupos funcionales en cada uso del suelo.

taxonómicas que componen este grupo funcional se registró interacción tratamiento por mes de muestreo.

Los depredadores registraron la mayor riqueza en el uso del suelo CC. Fue el grupo funcional con mayor riqueza relativa en este tratamiento, representando el 46 % del total de especies colectadas. Esta variable disminuyó desde los sistemas de producción más intensivos a los extensivos (Figuras 1 y 2a). Los taxones Araneae y Carabidae fueron quienes más contribuyeron a la riqueza de este grupo funcional en el uso del suelo CC (Cuadro 2). Por el contrario, en ambos momentos de muestreo, CN fue el uso del suelo con menor riqueza de este grupo funcional y de todas las unidades taxonómicas que lo integran, con excepción de Staphylinidae (Coleoptera), la cual tuvo la mayor can-

tidad de morfoespecies. La interacción tratamiento por mes de muestreo que se registró fue consecuencia del incremento en el número de especies colectadas en el mes de setiembre en MP, debido fundamentalmente al aumento en la riqueza del taxón Carabidae.

Densidad

Los resultados de los análisis del estadístico de máxima verosimilitud para la densidad indican que hubo efecto de los tratamientos e interacción de éstos con el mes de muestreo para el total general y el total de los grupos funcionales (Cuadro 3 b).

De acuerdo a la densidad total, en el muestro de abril los usos del suelo quedaron separados en cuatro grupos: la mayor densidad se obtuvo en CN; le siguió MP; el tercer grupo lo integraron CC y RL y finalmente el menor valor se registró en RC. No existieron diferencias entre los usos del suelo para el muestreo del mes de setiembre (Figura 3).

Con respecto a los herbívoros, en los dos momentos de muestreo en CN la densidad fue significativamente mayor que la registrada en los restantes tratamientos (Figura 3). En este uso del suelo, fue el grupo funcional con mayor representación relativa (75 % del total de individuos colectados) (Figura 2 b). Al igual que para la riqueza, las mayores densidades se registraron en las cuatro familias del Orden Coleoptera (Chrysomelidae, Curculionidae, Scarabaeidae y Elateridae) que integran este grupo funcional. La interacción tratamiento por mes de muestreo estuvo dada fundamentalmente por la importante disminución de la densidad poblacional de Hymenoptera registrada en este tratamiento en el muestreo de setiembre. Dentro de este grupo funcional también hubo interacción en las unidades taxonómicas

En los usos del suelo donde hubo un reemplazo de la vegetación natural (CC, RC, RL y MP) los detritívoros fueron el grupo funcional predominante, representando más del 60% de los individuos colectados (Figura 2b). Las diferencias entre usos del suelo fueron más categóricas en abril que en setiembre. En ambos momentos de muestreo, MP y CC tuvieron las densidades poblacionales más altas, debido a la abundancia de Isoptera y Oligochaeta. Mientras que en abril existieron diferencias entre estos tratamientos, en setiembre fueron similares debido a la importante disminución en la densidad poblacional de Isoptera que se registró en MP. Por el contrario, CN se caracterizó por ser el tratamiento con las densidades poblacionales más bajas de este grupo funcional y de todas las unidades taxonómicas en las que hubo efecto del tratamiento, con

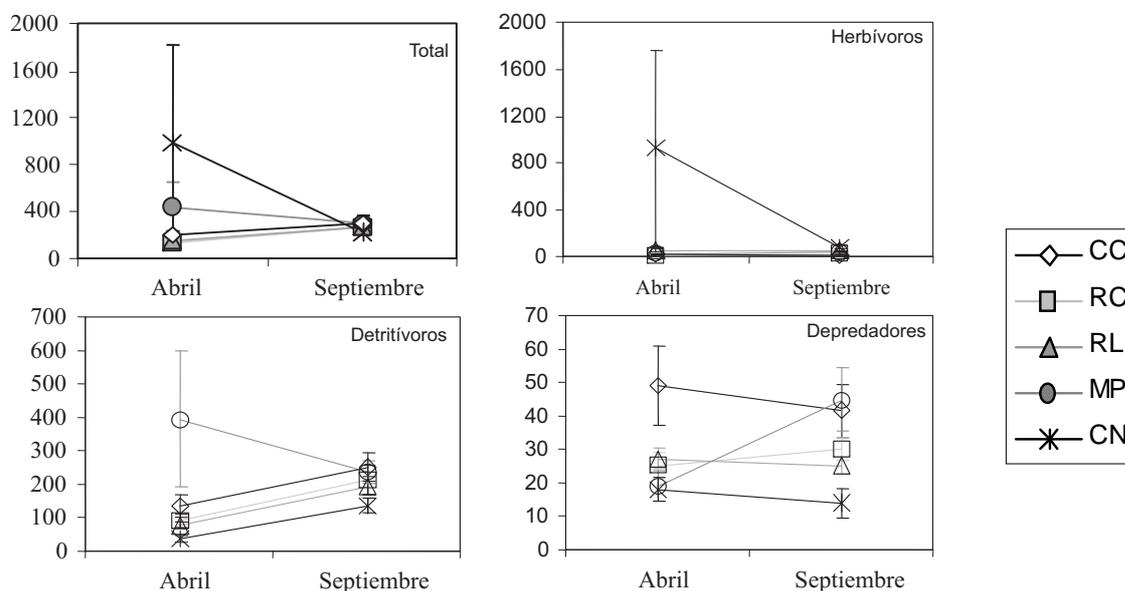


Figura 3. Densidad (nº de individuos/m²) total y de los grupos funcionales en cada momento de muestreo según uso de la tierra. Los valores representan la media ± IES.

excepción de Scarabaeinae para la cual se registró la mayor población. En todas las unidades taxonómicas que componen este grupo funcional hubo interacción tratamiento por mes de muestreo.

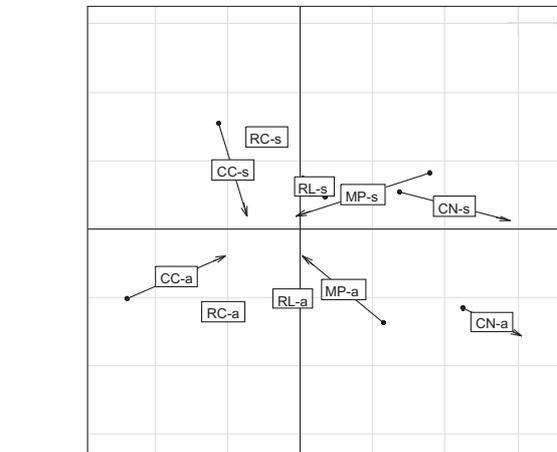
Los depredadores fueron el grupo funcional menos abundante. Hubo un incremento en la densidad relativa a medida que el uso del suelo fue más intensivo. En los dos momentos de muestreo, el CC fue el tratamiento con las densidades más altas (Figura 3). Los taxa Araneae, Carabidae y Nematoda Mermithidae fueron los que más contribuyeron al valor de densidad registrado en este uso del suelo. Por el contrario, el CN registró los valores más bajos para este grupo funcional; sin embargo, la densidad de Staphylinidae fue significativamente superior a la registrada en los restantes usos del suelo (Cuadro 2). A diferencia de los restantes tratamientos, en MP hubo un importante aumento de la densidad de este grupo funcional en el mes de setiembre, debido a un incremento del grupo Carabidae. En consecuencia, la interacción tratamiento por mes de muestreo fue significativa.

Relaciones macrofauna - hábitat

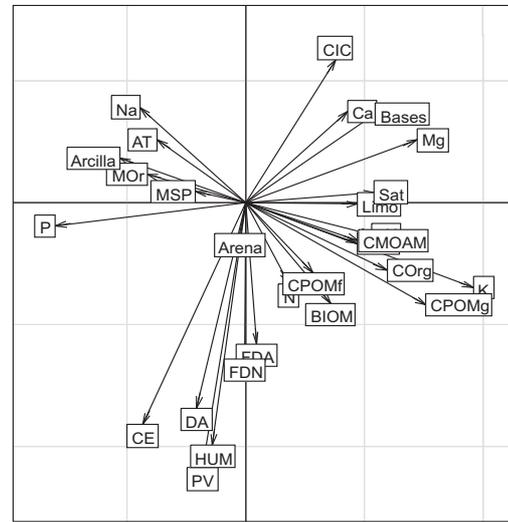
El test de Montecarlo del análisis de CoInercia fue significativo ($p = 0.05$), lo que significa que la co-estructura descrita por los ejes 1 y 2 es similar a las es-

tructuras descritas en los análisis realizados para cada matriz de datos. Los dos primeros ejes del análisis de CoInercia explicaron el 79 % y 15 % de la estructura común compartida por las matrices de variables ambientales y de densidad, lo que enfatiza la importancia del primer eje.

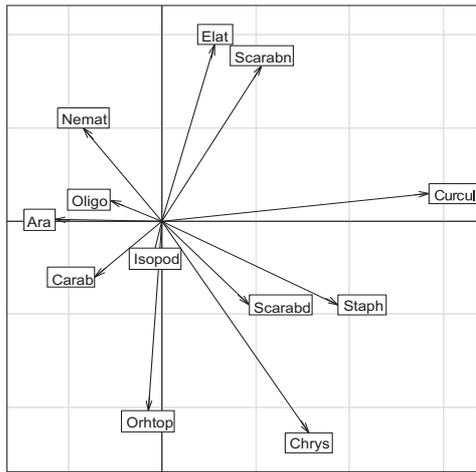
Los sistemas de producción se ordenaron de acuerdo a la intensidad de uso (Figura 4 a). Hacia la izquierda se ubicaron los más intensivos (CC y RC), que fueron ambientes que se caracterizaron por tener residuos ricos en materia orgánica y suelos con valores más altos de fósforo (P), arcilla y conductividad eléctrica (CE). Los grupos característicos de estos sistemas de producción fueron Araneae, Carabidae y Nematoda Mermithidae (depredadores) (Figura 4 b y c). Por el contrario, a la derecha de la Figura 4a se ubicaron los usos del suelo menos intensivos (MP y CN), los cuales se caracterizaron por ser ambientes con suelos con mayor contenido de materia orgánica (COrg), bases totales (Bases), Potasio (K) y Magnesio (Mg) y por la presencia de Curculionidae, Scarabaeidae y Chrysomelidae (herbívoros), Isoptera y Scarabaeinae (detritívoros), y Staphylinidae (depredadores). El eje 2 separó a los momentos de muestreo, observándose que en abril la distancia entre los usos del suelo fue mayor que en setiembre.



a)



b)



c)

Figura 4. Resultados del análisis de CoInercia entre variables ambientales y densidad: a) plano factorial de CoInercia de los usos del suelo; la punta de la flecha representa la posición del uso del suelo para la macrofauna y el otro extremo para las variables ambientales. cuanto mayor es la flecha menor es la relación entre las variables ambientales y la densidad de la macrofauna. b) y c) proyección de los vectores de las variables ambientales y de la densidad de la macrofauna en el plano factorial de CoInercia.

Ara- Araneae; Carab- Carabidae; Chrys- Chrysomelidae; Curcul- Curculionidae; Elat- Elateridae; Isop- Isopoda; Nemat- Nematoda Mermithidae; Oligo- Oligochaeta; Orthop-Orthoptera; Scarabd-Scarabaeidae; Scarabn- Scarabaeinae; Staph- Staphylinidae; AT- Acidez Titulable; Bases- Bases Totales; BIOM- Biomasa Microbiana; Ca- Calcio; CE- Conductividad Eléctrica; Corg-Carbono Orgánico; CEN-Cenizas; CIC- Capacidad Intercambio Catiónico; DA- Densidad Aparente; FDA - Fibra Detergente Ácida; FDN-Fibra Detergente Neutra; P- Fósforo; HUM- Humedad; PV- Peso de residuos; Mg- Magnesio; C MOAM-Materia orgánica estabilizada; C POMg-Materia orgánica particulada gruesa; C POMf-Materia orgánica particulada fina; MOR-% Materia Orgánica de los residuos; MSP- Materia Seca Parcial de los residuos; N- Nitrógeno Total; K- Potasio; Na- Sodio; Sat- Saturación.

Discusión

Al considerar el número de cultivos por año, hay un gradiente en la intensidad de uso del suelo desde el cultivo continuo (CC) hasta el campo natural (CN). Este fue el factor determinante de los resultados obtenidos. Las diferencias en la composición y en la proporción de los grupos funcionales de las comunidades de la macrofauna, indican que el tipo, la riqueza de especies vegetales y el manejo son aspectos que tienen efecto sobre estos organismos (Altieri, 1999; Aquino *et al.*, 2000; Dubs *et al.*, 2004), porque determinan los recursos disponibles y afectan las interacciones entre los herbívoros, sus controladores y los detritívoros (Moore *et al.*, 2004; Siemann, 1998).

En CN predominaron los herbívoros de raíces sobre los otros grupos funcionales. Una de las posibles razones que explicarían esta predominancia, es que ante una menor presencia de depredadores, no tuvieron una presión de consumo intensa que limitara la colonización en este uso del suelo (Siemann, 1998). También hay que considerar que en las plantas perennes la defoliación generalmente incrementa el desarrollo de brotes, reduciendo la biomasa radicular. Esto puede producir una

disminución en la relación Carbono/Nitrógeno y mejorar la calidad del alimento de los herbívoros de raíces (Masters, 2004; Wardle y Bardgett, 2004).

En cuanto al impacto que puede tener la presencia de los herbívoros de raíces, está determinado que bajos niveles poblacionales aumentan la eficiencia del sistema radicular, beneficiando a las plantas (Masters, 2004). Por el contrario, cuando las poblaciones son abundantes, causan generalmente la muerte de la planta. Los efectos que pueden causar niveles moderados de herbivoría de raíces son variables y van a estar determinados por el contenido de nutrientes y de agua en el suelo y la competencia entre plantas (Masters, 2004).

El importante predominio de los herbívoros podría ser la causa de los bajos valores de riqueza y densidad de detritívoros, dado que estarían consumiendo material vegetal que de otra manera podría estar disponible para este último grupo funcional.

Los cambios en las condiciones de temperatura y humedad del suelo como consecuencia de la menor cantidad de residuos, afecta a algunas unidades taxonómicas que componen este grupo funcional, como es el caso de Oligochaeta (Masters, 2004; Wardle y Bardgett, 2004). Para muchos organismos edáficos, el contenido de humedad del suelo es tan importante que, en suelos con contenidos de nutrientes muy bajos pero con adecuados tenores de humedad, las densidades poblacionales son considerablemente superiores a las registradas en suelos ricos en nutrientes pero más secos (Luizão *et al.*, 2002).

Del análisis de los resultados obtenidos para el CN, surge otro aspecto que merece ser destacado. En este uso del suelo se obtuvieron los valores más altos de riqueza y densidad de la mayoría de las familias del Orden Coleoptera (herbívoros: Chrysomelidae, Curculionidae, Elateidae, Scarabaeidae; detritívoros: Scarabaeinae, y depredadores: Staphylinidae), lo cual según Decäens *et al.* (2001) puede deberse a la presencia de excrementos frescos durante la mayor parte del año. El 60% del material verde ingerido por el ganado retorna al suelo como materia fecal (Wardle y Bardgett, 2004), lo cual es un recurso de alta calidad para algunos organismos del suelo (Lavelle y Spain, 2001).

El uso del suelo MP se caracterizó porque los detritívoros constituyeron el grupo funcional con mayor riqueza, lo que sugiere que en este tratamiento hubo una mayor cantidad de recursos a ser colonizados por este grupo, como consecuencia del tipo y la diversidad de especies vegetales presentes, así como de su manejo (FAO, 2002). Se registraron los valores más altos de

riqueza de las unidades taxonómicas Isopoda, Isoptera, Oligochaeta y Scarabaeinae. En este uso del suelo también se obtuvieron los valores más altos de densidad de los taxones anteriormente mencionados, pero las diferencias no fueron tan marcadas, como para la riqueza. En ambos momentos de muestreo las densidades poblacionales de Oligochaeta registradas fueron similares a los valores obtenidos en CC y las de Scarabaeinae a CN.

El uso del suelo CC se distinguió porque fue el tratamiento que tuvo mayor número de especies y abundancia de depredadores, en particular de los taxa Araneae y Carabidae. Estos resultados discrepan con lo mencionado por Lee (1985); quien señala que los sistemas de cultivos anuales intensivos alojan menores poblaciones de depredadores. Estas diferencias podrían ser debidas a que los cultivos en este experimento tienen el objetivo de producir forraje y probablemente el uso de agroquímicos sea menor que en cultivos para grano.

La importancia relativa de este grupo funcional para riqueza y densidad, disminuyó desde CC a CN, lo que indicaría que la cantidad y calidad de residuos y no la diversidad de los mismos, son los factores que afectan a este grupo funcional.

Para Araneae, la temperatura y el agua son factores críticos. También son sensibles a los cambios de la estructura del hábitat, particularmente aquellos que determinan el arreglo físico de las estructuras en el espacio, pero no a la disponibilidad de las presas (Bell *et al.*, 2001).

Con respecto a Carabidae, Magura *et al.* (2001), encontraron que su distribución está determinada por factores ambientales abióticos y bióticos. Al tiempo que dependen de la estructura del hábitat y no de plantas específicas, también la cantidad de alimento disponible puede influir en la selección de su hábitat.

En general, los usos del suelo RC y RL registraron valores intermedios entre CC y MP respecto al número de especies y de individuos. En ambos usos del suelo los detritívoros constituyeron el grupo funcional con mayor densidad.

Al comparar los valores de densidad de las unidades taxonómicas obtenidos con los valores reportados para otras regiones del mundo, se observan importantes diferencias, lo que demuestra que la macrofauna del suelo responde al clima, tipo de suelo, vegetación y manejo, tal como fue señalado por Lavelle y Spain (2001).

En este estudio, el primer factor de ordenación de las comunidades respondió a los tratamientos y el segundo factor al momento de muestreo, por lo que a ni-

vel local el manejo y el tipo de vegetación tienen más importancia que las variaciones climáticas estacionales. La composición de las comunidades de los distintos usos del suelo respondieron a diferencias en las propiedades del suelo y en la cantidad y calidad de los residuos, como consecuencia de la diferencias en la vegetación.

Conclusiones

La riqueza y densidad de los diferentes grupos funcionales de las comunidades de la macrofauna del suelo varió de acuerdo a la intensidad y frecuencia de perturbación y a la productividad de los usos del suelo considerados (cantidad y calidad de recursos). La dirección y magnitud de estos cambios debería ser evaluada en función de las posibles alteraciones de los principales procesos ecosistémicos (flujo de energía, ciclo de nutrientes, ciclo hidrológico, procesos de regulación biótica y sucesionales de vegetación) de modo de asegurar un efectivo manejo sustentable de los suelos de la pradera natural uruguaya.

El análisis de CoInercia demostró ser una herramienta útil para visualizar las relaciones entre la macrofauna del suelo y el hábitat. Permitted definir y comparar los ensamblajes biológicos y evaluar el efecto de las perturbaciones.

Debido a su sensibilidad a las prácticas de manejo, la evaluación de la macrofauna del suelo conjuntamente con las propiedades del mismo, puede ser una herramienta útil para evaluar la sustentabilidad de las innovaciones tecnológicas que se proponen para el manejo de suelos y cultivos.

Bibliografía

- Altieri, M. 1999. El agroecosistema: determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. In Altieri, M. (Ed.). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo, Nordan Comunidad. p. 47-70.
- Aquino, M. A. De; Merlim, A. De Oliveira; Correia, M. E. F.; Mercante, F. M. 2000. Diversidade da macrofauna do solo como indicadora de sistemas de plantio direto para a região oeste do Brasil. In Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (24), Reunião Brasileira sobre Micorrizas (8), Simposio Brasileiro de Microbiologia do Solo (6), Reunião Brasileira de Biologia do Solo (3., 2000, Santa Maria, Rio Grande do Sul, BR). Fertbio 2000. Biodinâmica do solo. 1 disco compacto.
- Anderson, J. M. 1994. Functional attributes of biodiversity in land use systems. In Greenland, D.J.; Szabolcs, I. (Eds.). Proceedings of a Symposium held in Budapest, including the Second Workshop on the Ecological Foundations of Sustainable Agriculture. (WEFSA II). Wallingford, CAB International. p. 267-290.
- Anderson, J. M.; Ingram, J. S. I. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. 2nd. Ed. Wallingford, CAB International. 221 p.
- Bell, J. R.; Wheeler, C. P.; Cullen, W. R. 2001. The implications of grassland and heathland management for the conservation of spider communities: a review. *Journal of Zoology* 255:377-387.
- Brown, G. G.; Pasini, A.; Benito, N. P.; De Aquino, A. M.; Correia, M. E. F. 2001. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Report presented in the "International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems". Montreal, Canadá, 8-10 November, 2001. 20p.
- Decaens, T.; Lavelle, P.; Jiménez, J. J.; Escobar, G.; Rippstein, G.; Schneidmadl, J.; Sanz, J. I.; Hoyos, P.; Thomas, R. J. 2001. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern plains of Colombia. In Jiménez, J.J.; Thomas, R.J.U. (Eds.). *Nature's Plow: Soil macroinvertebrate communities in the Neotropical savannas of Colombia*. Cali, CIAT. Publicación CIAT no. 324. p. 19-41.
- Dolédéc, S.; Chessel, D. 1994. Co-Inertia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater Biology* 31:277-294.
- Dubs, F.; Lavelle, P.; Brennan, A.; Eggleton, P.; Haimi, J.; Ivits, E.; Jones, D.; Keating, A.; Moreno, A. G.; Scheidegger, C.; Sousa, P.; Szel, G.; Watt, A. 2004. Soil macrofauna response to soil, habitat and landscape features of land use intensification: an European gradient study. In *International Colloquium on Soil Zoology and Ecology*. (14., 2004, France). Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. p. 252.
- FAO. 2001. Soil Biodiversity: What is it? Soil Biodiversity: Portal. Land and Water (AGL). <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/soilbtxt.htm>.
- FAO. 2002. Soil biodiversity and sustainable agriculture. In *International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja. no.182. p. 1-68.
- Gassen, D. N.; Gassen, F. R. 1996. Plantio direto o caminho do futuro. Passo Fundo, Aldeia Sul. 207 p.
- Lavelle, P.; Spain, A. V. 2001. *Soil Ecology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.
- Lee, K. E. 1985. Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use. New York, Academic Press. 411 p.
- Linden, D. R.; Hendrix, P. F.; Coleman, D. C.; Van Vilet, P. C. J. 1994. Faunal indicators of soil quality. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable Environment*. SSSA. Special Publication no. 35. p. 91-106.

- Luizão, R. C. C.; Barros, E.; Luizão, F. J.; Alfaia, S. S.** 2002. Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry system in Rondônia, Amazônia, Brasil. In International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystem for Sustainable Agriculture. Londrina, Embrapa Soja. FAO. Documentos/ Embrapa Soja. no.182. p. 93-97.
- Magura, T.; Tóthmérész, B.; Molnár, T.** 2001. Edge effect on carabid assemblages along forest-grass transects. *Web Ecology* 2:7-13.
- Masters, G. J.** 2004. Belowground herbivores and ecosystem processes. *Ecological Studies* 173:93-112.
- Moore, J. C.; Berlow, E. L.; Coleman, D. C.; Ruiter, P. C.; Dong, Q.; Hastings, A.; Johnson, N. C.; Mccann, K. S.; Melville, K.; Morin, P. J.; Nadelhoffer, K.; Rosemond, A. D.; Post, D. M.; Sabo, J. L.; Scow, K. M.; Vanni, M. J.; Wall, D. H.** 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters* 7:584-600.
- Pankhurst, C. E.** 1997. Biodiversity of soil organisms as an indicator of soil health. In Pankhurst, C.E.; Doube, B.M.; Gupta, V.V.S.R. (Eds.). *Biological indicators of soil health*. Wallingford, CAB International. p. 297-324.
- Price, W. P.** 1988. An overview of organismal interactions in ecosystems in evolutionary and ecological time. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2:269-377.
- R. Development Core Team.** 2004. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-00-3, URL <http://www.R-project.org>.
- SAS Institute Inc.** 1999. SAS/STAT User's Guide, Version 8, Cary NC: SAS Institute Inc.
- Siemann, E.** 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology* 79:2057-2070.
- Terra, J. A.; García Préchac, F.** 2001. Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del este: Síntesis 1995 – 2000. Montevideo, INIA. Serie técnica no.125. 100 p.
- Thioulouse J.; Chessel D.; Doledec S.; Olivier J. M.** 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7: 75-83.
- Wardle, D. A.; Bardgett, R. D.** 2004. Indirect effects of invertebrate herbivory on the decomposer subsystem. *Ecological Studies* 173: 53:69.