



Ecología Austral 24:327-334. Diciembre 2014
Asociación Argentina de Ecología

Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria

MÓNICA DÍAZ PORRES^{✉1,2}; MACARENA H. RIONDA¹; ANDRÉS E. DUHOUR² & FERNANDO R. MOMO^{1,2}

1. Área de Biología y Bioinformática, Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina.
2. Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES), Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Argentina.

RESUMEN. En este trabajo se establecen y muestran las relaciones entre la presencia y densidad de distintos grupos de macroartrópodos edáficos y algunas propiedades físicas y químicas del suelo. También se muestran y analizan las diferencias entre las comunidades de macroartrópodos de suelos con diferentes intensidades de uso (agrícola, ganadero y pastizal naturalizado). Entre las variables físicas y químicas del suelo, sólo los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total mostraron diferencias significativas entre los tratamientos (usos). Los resultados muestran que la intensidad de uso del suelo afecta la abundancia de varios grupos y la composición de la comunidad de macroartrópodos; la densidad total de organismos y su riqueza disminuyeron significativamente en los sistemas agrícolas y ambas variables fueron mayores en los sitios naturalizados. La relación C/N y el porcentaje de materia orgánica del suelo fueron las variables que mejor explicaron la distribución de los macroartrópodos en los diferentes usos. El análisis de correlación canónica entre variables biológicas y edáficas muestra que la composición y la densidad de los macroartrópodos en los sistemas evaluados están determinadas por la disponibilidad de alimento (en forma positiva) y por intensificación agropecuaria (en forma negativa). Postulamos que la mayor complejidad del estrato herbáceo favorece la abundancia de los macroartrópodos criptozoicos, mientras que la simplificación de ese estrato y la compactación del suelo favorecen relativamente a los grupos caminadores de superficie. Esto permite plantear un modelo conceptual con el que se podrían predecir los ensamblajes característicos de otros tipos de uso o condiciones.

[Palabras clave: macroartrópodos edáficos, variables físicas y químicas del suelo, cultivos anuales, pastoreo intensivo]

ABSTRACT. Soils arthropods: Relationships between faunal composition and agricultural intensification: This paper establishes and shows the relationships between the presence and density of different soil macroarthropods and some physical and chemical soil properties. Also, it shows and discuss the differences between soil macroarthropods communities in sites under different uses (agriculture, livestock and naturalized grassland). The contents of organic matter and total nitrogen showed significant differences between treatments (uses). Results show that the intensity of land use affects the abundance of several groups and the community composition; the total density of organisms and their richness declined significantly in agricultural systems and both variables were higher in naturalized sites. The C/N ratio and the percentage of organic matter were the variables that best explained the distribution of macroarthropods in different uses. The canonical correlation analysis indicates that the composition and density of macroarthropods are determined by the availability of food (in a positive way) and by agricultural intensification (negatively). We postulate that a higher complexity of the herbaceous layer favors macroarthropods while a lower complexity and the soil compaction favor the surface-walkers groups. We propose a conceptual model that could be used to predict the behavior of macroarthropods assemblages under other soil conditions.

[Keywords: soil's macroarthropods, physical and chemical soil variables, annual crops, intensive grazing]

INTRODUCCIÓN

Los macroartrópodos del suelo son un importante componente de los ecosistemas naturales y agroecosistemas, participan en la regulación de procesos como la fragmentación y descomposición de la materia orgánica y el reciclado de nutrientes, modifican la estructura del suelo y regulan la actividad de otros organismos más pequeños (Coleman et al. 2004). Aunque las propiedades físicas y químicas de los suelos se han usado

tradicionalmente para diagnosticar la calidad y salud de los agroecosistemas, la disminución de la capacidad productiva y la fertilidad del suelo se pueden detectar también por cambios en las poblaciones de los invertebrados edáficos (Brussaard et al. 1997). Al respecto Paoletti & Bressan (1996) argumentaron que la distribución y abundancia de la fauna del suelo están determinadas por las características de los ecosistemas relacionadas con la disponibilidad de nutrientes y alimento, la textura y la

Editora asociada: Adriana Salvo

✉ monidipo@utp.edu.co

Recibido: 27 de diciembre de 2013; Fin de arbitraje: 10 de abril de 2014; Última versión revisada: 22 de agosto; Aceptado: 25 de agosto.

porosidad del suelo, la retención de agua y la presencia y abundancia de depredadores y parásitos. La magnitud de los efectos del uso del suelo sobre la edafofauna depende del tipo de uso, del sistema de siembra (convencional o directa), de la diversidad y rotación de cultivos, de los insumos utilizados y de las condiciones climáticas locales (Aquino et al. 2008a).

El estudio de la asociación entre las propiedades físicas y químicas del suelo, la composición y abundancia de los macroartrópodos edáficos y la intensidad de uso, tiene interés para desarrollar herramientas de monitoreo y diagnóstico. Diferentes estudios demuestran que factores como la humedad, el contenido de materia orgánica (Momo et al. 1993; Domínguez et al. 2010), la compactación, la intensificación agrícola (Aquino et al. 2008b; Diekötter et al. 2010; Feijoo et al. 2010) o el tipo de cobertura vegetal (Dauber et al. 2005; Falco & Momo 2010) modifican significativamente la densidad, composición y distribución de las comunidades edáficas, las cuales seleccionan ambientes con coberturas capaces de disminuir los efectos de la temperatura y ofrecer disponibilidad de recursos alimenticios. Así, en sitios con pastizales naturales o naturalizados, las comunidades de animales del suelo suelen ser más diversas que en suelos usados para cultivos anuales o ganadería (Dauber et al. 2005; Aquino et al. 2008b; Diekötter et al. 2010).

La hipótesis del estudio es que la intensificación de las actividades agropecuarias disminuye la abundancia y altera la composición de la comunidad de macroartrópodos del suelo. El objetivo de este trabajo es establecer y mostrar las relaciones entre la presencia de distintos grupos de macroartrópodos edáficos, algunas propiedades físicas y químicas del suelo y diferentes intensidades de uso. Se pretende determinar de qué modo los cambios en los usos del suelo alteran la abundancia y composición de los macroartrópodos y cuáles son los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo que condicionan la presencia o ausencia de estos organismos.

MÉTODOS

Área de estudio

Las muestras se extrajeron de dos campos del partido de Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina; uno fue el campo experimental de la

Universidad Nacional de Luján (34°35' S; 59°04' W, sitio 1) y otro un predio rural privado (Las Acacias en la localidad de Open Door, 34°26' S; 59°04' W, sitio 2). La zona forma parte de la estepa herbácea de la Pampa Argentina y se caracteriza por presentar clima templado subhúmedo con temperatura promedio estacional estival de 25°C, invernal de 9.5°C y precipitación media anual de 950 mm. El suelo de los lotes utilizados es un Argiudol Típico de la serie Mercedes (Momo et al. 1993) según la clasificación del Soil Survey Staff (2010). El uso de la tierra en esta zona históricamente ha tenido predominio de la actividad agrícola y ganadera, con incremento del cultivo de soja (*Glycine max*) en las últimas dos décadas (Aizen et al. 2009).

Muestreo y mediciones de campo

En cada campo se eligieron tres lotes de 9 ha aproximadamente, con usos diferentes: 1) agricultura intensiva convencional, con cultivos anuales de soja (*Glycine max*), maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum* spp.); 2) ganadería con pastoreo intensivo; y 3) pastizal naturalizado sin uso agropecuario durante los últimos 30 años. Éste último fue tomado como sistema de referencia (Tabla 1). En cada lote se tomaron varias muestras distantes entre sí al menos diez metros por lo que pueden considerarse estadísticamente independientes (es decir que no presentan pseudorreplicación) ya que, como está ampliamente demostrado en el caso de estos suelos, las distancias entre muestras exceden ampliamente las distancias de autocorrelación, con lo cual los datos son estadísticamente independientes aunque estén tomados en el mismo campo (Conti et al. 1980; Giuffré et al. 1998; M. Massobrio, comunicación personal).

En cada lote se definió una transecta de 30 m en sentido perpendicular al borde de acceso y sobre esa transecta se ubicaron tres puntos cada diez metros donde se tomaron manualmente muestras de macroartrópodos en un área de 0.25 x 0.25 m y 0.10 m de profundidad. El muestreo se realizó en mayo de 2009, época de otoño. Los individuos colectados

Tabla 1. Características generales de los sistemas naturalizado, ganadero y agrícola.

Table 1. General characteristics of natural grassland, livestock and agricultural system.

	Sistema naturalizado	Sistema ganadero	Sistema agrícola
Edad	> 30 años	> 15 años	15 años
Cultivo	Vegetación natural herbácea	Rye Grass (<i>Lolium</i> spp.)	Soja (<i>Glycine max</i>), Maíz (<i>Zea mays</i> L.) Trigo (<i>Triticum</i> spp.)
Pastoreo	no	bovinos, ovinos	no
Fertilización	no	sí	sí
Plaguicidas	no	no	sí
Labranza	no	sí	sí

se conservaron en etanol 70%; en el laboratorio se separaron de acuerdo con su morfología y se identificaron hasta el nivel de orden o familia usando las claves de Dindal (1990). Para todos los taxa se separaron los individuos adultos de los estados larvales (inmaduros). Se cuantificaron la densidad (número de individuos por metro cuadrado) y el número de taxa por uso del suelo.

En los mismos puntos donde se colectó la fauna, se tomaron muestras en el horizonte A del suelo para determinar la densidad aparente (DA), la humedad gravimétrica (Hum, %), el contenido de materia orgánica (MO, %), nitrógeno total (Nt, %) y la relación C/N. La DA se determinó por el método del cilindro (Blake & Hartge 1986) y en el laboratorio se calculó la humedad gravimétrica (a 105°C). La MO se calculó por el método de pérdida de peso por ignición y el nitrógeno total por el método Kjeldahl (Gavlak et al. 2003). Para estimar la relación C/N, el contenido de carbono orgánico se calculó a partir del porcentaje de materia orgánica usando el factor 1.724, según la relación: $CO (\%) = MO (\%) / 1.724$ (AOAC 1975).

Análisis de la información

Para determinar diferencias estadísticamente significativas por uso del suelo en la densidad de macroartrópodos, número de taxa y las variables físicas y químicas del suelo, se empleó un análisis de varianza no paramétrico para muestras independientes (prueba de Kruskal-Wallis); se prefirió este análisis en vez del ANOVA clásico por ser más robusto en casos de bajo n y falta de normalidad.

Para establecer y mostrar las relaciones entre variables físicas y químicas y abundancias de macroartrópodos aprovechando mejor la información de cada punto, se procedió en dos pasos usando análisis multivariados. En primer término se realizó un análisis de tipo exploratorio, el análisis de componentes principales para las

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del horizonte superficial del suelo de los sistemas naturalizado, ganadero y agrícola.

Table 2. Physical and chemical properties of surface soil horizon of natural grassland, livestock and agricultural system.

	Sistema naturalizado		Sistema ganadero		Sistema agrícola				
	Media	DE	Media	DE	Media	DE			
DA	1.02	0.11	1.10	0.04	1.02	0.09	ns		
Hum	19.14	4.40	20.39	2.85	18.07	4.52	ns		
MO	5.74	1.06	b	4.38	0.30	a	5.17	1.11	ab
Nt	0.32	0.06	b	0.24	0.03	a	0.31	0.03	b
C/N	11.12	4.07		10.60	1.59		9.67	1.65	ns

DA: densidad aparente (g/cm^3), Hum: humedad gravimétrica (%), MO: materia orgánica (%), Nt: nitrógeno total (%), C/N: relación carbono nitrógeno. Media y desviación estándar ($n=6$). Letras distintas indican diferencias significativas entre sistemas ($P < 0.05$). ns: diferencias no significativas entre sistemas.

variables físicas y químicas; este análisis reduce la dimensión de los datos asociando las variables en ejes artificiales (componentes principales) no correlacionados entre sí y que explican gran parte de la variabilidad total original (Velásquez et al. 2007); la visualización del diagrama de dispersión de los puntos con su respectivo uso permite comprender qué variables influyen más en la caracterización general de los sitios. En segundo lugar, para determinar las relaciones entre la macrofauna y las variables físicas y químicas del suelo, se realizó un análisis de correlación canónica, generalización de la regresión múltiple, que encuentra la correlación máxima entre las combinaciones lineales (variables canónicas) de los dos grupos de descriptores (Legendre & Legendre 1999). Los grupos taxonómicos que estuvieron representados con densidades menores al 3% de la densidad total no se consideraron en el análisis de correlación canónica. Este tipo de análisis aporta información biológicamente significativa que puede estar enmascarada en el análisis de varianza debido a la dispersión intrínseca de los datos por tratamiento; los análisis de correlación y regresión son recomendados además porque aportan una estimación de parámetros que pueden volcarse a modelos de procesos (Cottingham et al. 2005). Todos los análisis estadísticos se hicieron con el programa InfoStat© (InfoStat 2008).

RESULTADOS

Características del suelo

Los resultados indican que los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total fueron mayores en pasturas naturalizadas, mostrando diferencias significativas con los sitios ganaderos ($P < 0.05$), pero no con los agrícolas. La DA fue mayor en el sistema con pastoreo intensivo pero no difirió significativamente entre usos. Asimismo, la humedad gravimétrica y la relación C/N no mostraron diferencias significativas entre usos del suelo (Tabla 2).

Los dos primeros componentes del análisis de componentes principales para las variables físicas y químicas del suelo explicaron el 65.5% (36.9 y 28.6%) de la variabilidad total ($P < 0.05$). El primer factor se asocia con mayor relación C/N y más materia orgánica hacia la izquierda contra mayor contenido de nitrógeno hacia la derecha. El segundo componente decrece con la fertilidad (mayor contenido de nitrógeno total y mayor porcentaje de materia orgánica) y crece con la compactación (mayor densidad aparente) (Figura 1). El diagrama de dispersión muestra que los sitios de uso ganadero se pueden caracterizar en general por una mayor densidad aparente, lo cual se podría relacionar

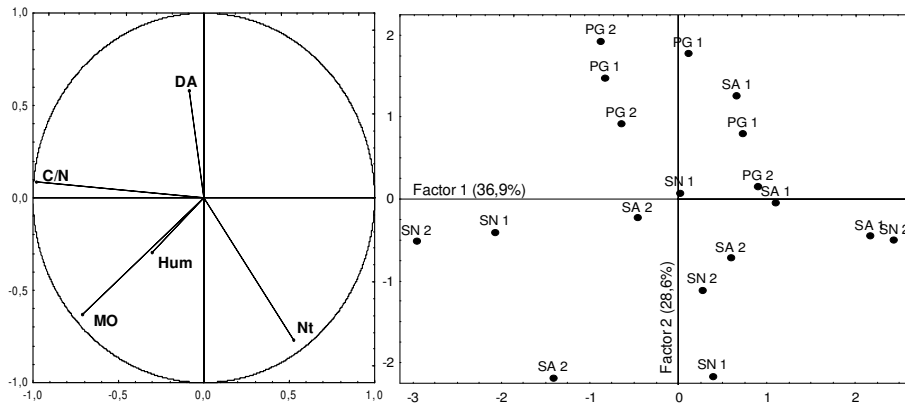


Figura 1. Proyección en el plano factorial de los dos primeros componentes principales para las variables físicas y químicas del suelo (Izquierda). Proyección de los sitios de muestreo en plano factorial de los dos primeros componentes principales (Derecha). DA: densidad aparente (g/cm³), Hum: humedad gravimétrica (%), MO: materia orgánica (%), Nt: nitrógeno total (%), C/N: relación carbono/nitrógeno. SN: Sistema naturalizado, PG: Sistema ganadero, SA: Sistema agrícola. 1: Sitio 1 (UNLu), 2: Sitio 2 (Las Acacias).

Figure 1. Projection on factorial plane F1/F2 of principal component analysis for physical and chemical soil variables (left). Sampling sites projection on factorial plane F1/F2 of principal component analysis (right).

con el efecto del pisoteo. No se observa un patrón claro en la asociación de los otros dos usos, aunque en líneas generales los sistemas de uso agrícola presentan una menor relación C/N; esto podría deberse a la fertilización.

Comunidad de macroartrópodos

Los individuos colectados se agruparon en doce taxa: Araneae, Chilopoda, Diplopoda, Blattodea, Coleoptera adultos, Coleoptera inmaduros, Dermaptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera inmaduros, Orthoptera e Isopoda.

Los grupos más abundantes fueron Isopoda, Araneae y adultos de Coleoptera (32.5%, 18.6% y 12.4% de la abundancia total, respectivamente) y estuvieron presentes en

la mayoría de los sistemas. El grupo más abundante en las pasturas fue el de los Isopoda de la especie *Armadillidium vulgare* L. Araneae, Chilopoda, Diplopoda, Coleoptera (larvas y adultos), Hemiptera y Lepidoptera también estuvieron presentes en este ecosistema. Para la mayoría de los grupos faunísticos las menores densidades se registraron en sistemas agrícolas, en los cuales el grupo más abundante dentro del uso fue el de las arañas (Figura 2).

La riqueza fue significativamente mayor en el sistema naturalizado y menor en el agrícola ($P < 0.05$). En el mismo sentido la densidad total separó significativamente al uso agrícola del pastizal naturalizado ($P < 0.05$), el cual presentó los mayores valores, cercanos a 300 individuos/m² (Figura 3).

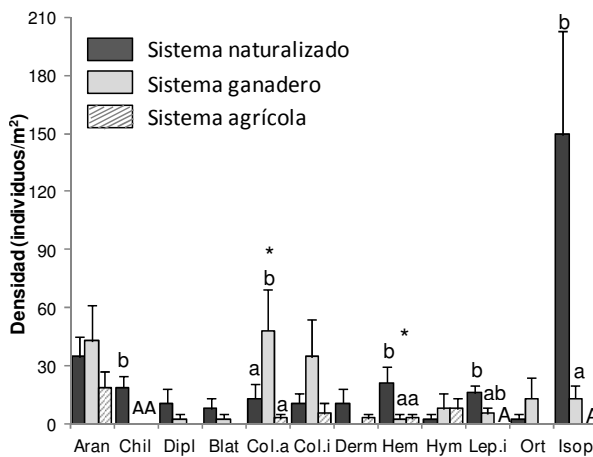


Figura 2. Densidad de la comunidad de macroartrópodos del suelo en sistemas naturalizado, ganadero y agrícola. Aran: Araneae, Chil: Chilopoda, Dipl: Diplopoda, Blat: Blattodea, Col.a: Coleoptera adultos, Col.i: Coleoptera inmaduros, Derm: Dermaptera, Hem: Hemiptera, Hym: Hymenoptera, Lep.i: Lepidoptera inmaduros, Ort: Orthoptera, Isop: Isopoda. Las barras indican el error estándar de la media ($n = 6$). Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre sistemas para el mismo grupo taxonómico. * Diferencias significativas ($P < 0.10$). Letras mayúsculas indican la ausencia del grupo en el sistema.

Figure 2. Density of the soil invertebrate macrofauna community under natural grassland, livestock and agricultural system. Mean and standard error ($n = 6$). Different letters indicate significant differences between systems for same taxonomic group ($P < 0.05$). * Significant differences ($P < 0.10$). Capital letters indicate the absence of the group in the system.

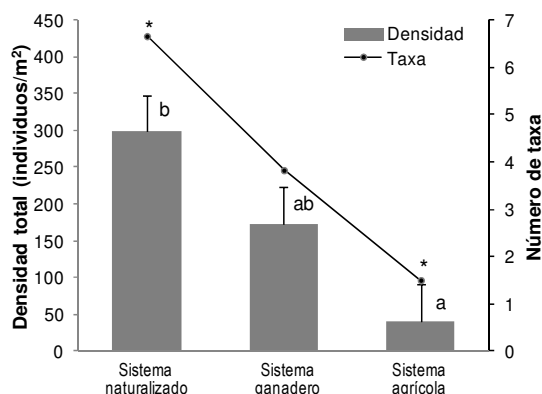


Figura 3. Densidad total (individuos/m²) y riqueza (número de taxa) de macroartrópodos del suelo en sistemas naturalizado, ganadero y agrícola. Las barras indican el error estándar de la media (n= 6). Letras distintas indican diferencias significativas (P< 0.05) en la densidad entre usos. * Diferencias significativas en el número de taxa entre sistemas (P< 0.10).

Figure 3. Total density (individuals/m²) and richness (number of taxa) of soil macroarthropods under natural grassland, livestock and agricultural system. Mean and standard error (n= 6). Different letters indicate significant differences between systems for total density (P< 0.05). * Significant differences between systems for number of taxa (P< 0.10).

taxonómicos ($\chi^2 = 52.72$; $R_{canónico} = 0.958$; $P = 0.028$; $n = 18$). La estructura de los factores mostró que la relación C/N y el porcentaje de materia orgánica son las variables edáficas que mejor explican la distribución de los macroartrópodos. El análisis de correspondencia mostró la asociación positiva entre los grupos de artrópodos más caminadores (arañas y coleópteros) y, a su vez, correlación negativa entre estos grupos y el porcentaje de materia orgánica del suelo. Los quilópodos y lepidópteros aparecen asociados positivamente entre sí y con la materia orgánica y la relación C/N; a su vez, los isópodos están asociados positivamente a los dos grupos precedentes y se correlacionan negativamente con la compactación (densidad aparente) y positivamente con los hemípteros; estos últimos tienen una correlación positiva con el porcentaje de nitrógeno en suelo. La figura 4 resume las correlaciones significativas entre las variables físicas y químicas y las biológicas, y da una idea de las posibles relaciones causales.

Relación biota - variables físicas y químicas del suelo

El análisis de correlación canónica mostró correlación significativa entre las variables físicas y químicas y la densidad de grupos

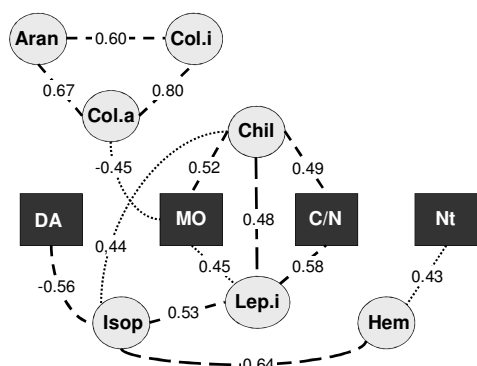


Figura 4. Correlación Canónica entre variables físicas y químicas y la densidad de grupos taxonómicos. DA: densidad aparente (g/cm³), MO: materia orgánica (%), Nt: nitrógeno total (%), C/N: relación carbono/nitrógeno. Aran: Araneae, Chil: Chilopoda, Col.a: Coleoptera adultos, Col.i: Coleoptera inmaduros, Hem: Hemiptera, Lep.i: Lepidoptera inmaduros, Isop: Isopoda. Valores indican el coeficiente de correlación. Correlación significativa: P< 0.10; --- P< 0.05.

Figure 4. Canonical correlation between physical and chemical soil variables and density of the soil's invertebrate macrofauna. DA: bulk density (g/cm³), MO: organic matter (%), Nt: total nitrogen (%), and C/N: carbon nitrogen ratio. Values indicate correlation coefficient. Significant correlation: P< 0.10; --- P< 0.05.

DISCUSIÓN

Variables físicas y químicas del suelo

Las variables físicas y químicas, con excepción del porcentaje de materia orgánica y el contenido de nitrógeno, no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Según Coleman et al. (2004) se hubiesen esperado diferencias significativas en la humedad que en nuestro caso no se observaron. La materia orgánica, la variable que se usa con mayor frecuencia como indicador de la calidad del suelo, no necesariamente está asociada con un mejor estado del sistema (Galantini & Suñer 2008); en particular, en los lotes evaluados en este trabajo, la entrada de materia orgánica es aportada principalmente por la vegetación, siendo un recurso energético rápidamente explotado por los invertebrados edáficos. En el caso de los lotes agrícolas, los contenidos de materia orgánica total no mostraron diferencias significativas con el pastizal naturalizado, aunque no sabemos qué proporción de la materia orgánica que ingresa estará disponible para los artrópodos. Según Coleman et al. (2004), el tipo y calidad de la materia orgánica del suelo condiciona también la disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

En todo caso, las diferencias no significativas entre usos en las variables físicas y químicas están mostrando que no parecen ser los

mejores indicadores del efecto de la intensidad de uso sobre el ecosistema edáfico.

Del análisis multivariado exploratorio (análisis de componentes principales) se puede extraer valiosa información en cuanto a la relación entre las variables físicas y químicas y la caracterización de los usos. Como ya mencionamos, el diagrama de dispersión muestra que los sitios de uso ganadero se caracterizan por una mayor densidad aparente, pero no se observa un patrón claro en la asociación de los otros dos usos, aunque en líneas generales los sistemas de uso agrícola presentan una menor relación C/N.

El alto grado de dispersión de los puntos de sistemas naturalizados da cuenta de su alto grado de heterogeneidad y podría explicar la falta de diferencias significativas en algunos parámetros físicos y químicos del suelo cuando se realiza el análisis de varianza.

Abundancia y diversidad de artrópodos según el uso del suelo

Los resultados muestran que la intensidad de uso del suelo afecta la abundancia de varios grupos de macroartrópodos. Por ejemplo los quilópodos sólo se hallan presentes en el sistema naturalizado; que los lepidópteros e isópodos son significativamente más abundantes en dichos sistemas que en los ganaderos y se hallan ausentes en los sistemas agrícolas y que los Hemiptera son significativamente más abundantes en sitios naturalizados que en suelos con los otros dos usos. La disminución o ausencia de isópodos en los sitios ganaderos y agrícolas puede explicarse por la escasez comparativa de hojarasca siendo que son detritívoros (Diekötter et al. 2010). En el caso de los quilópodos, que son depredadores, la mayor disponibilidad de presas y de refugios en los sitios naturalizados podrían explicar los resultados obtenidos (Callaham et al. 2006; Moço et al. 2010).

Por otra parte, las arañas y coleópteros (tanto adultos como inmaduros), que estuvieron presentes en todos los sitios, fueron significativamente más abundantes en los ganaderos. Podemos explicar este resultado en función de dos factores; por un lado, en el caso de los coleópteros, por el aprovechamiento de las heces del ganado como fuente de alimento; por otro, en el caso de las arañas y probablemente de los coleópteros adultos, puede haber influencia

de la vegetación presente, más baja y menos densa lo que permite una mayor facilidad de desplazamiento para estos grupos caminadores. Debe destacarse que el grupo de los coleópteros es muy diverso en general con presencia de especies detritívoras, herbívoras y predadoras (Coccinellidae, Elateridae, Scarabeidae, Carabidae y Staphylinidae). La abundancia de hormigas no fue significativamente diferente en suelos con distintos usos. Considerando la abundancia total de artrópodos y su variedad de taxa, ambas variables fueron mayores en los sitios naturalizados.

Relación entre variables edáficas y artrópodos

La relación entre la presencia y abundancia de diversos grupos faunísticos del suelo se ha estudiado con diseños similares al aquí realizado y los resultados no son unívocos. Bedano et al. (2006), trabajando con mesofauna edáfica, y particularmente con ácaros, han mostrado que la intensidad del uso del suelo tiene un efecto adverso sobre la densidad de Oribatida, Mesostigmata y la densidad total de ácaros; no obstante, no encuentran siempre las mayores densidades en los campos naturales sino que, en algunos casos, las densidades más altas se encuentran en campos de ganadería vacuna, algo similar a lo que observamos con algunos grupos.

Trabajando con macrofauna, a un nivel de resolución taxonómica similar al de nuestro trabajo, Domínguez et al. (2010) encontraron una disminución significativa de arañas, coleópteros y diplópodos en campos con explotación agrícola de "labranza cero" con respecto a pastizales naturales. En este caso, los autores atribuyen el resultado a una combinación de factores tales como cambios en el pH, la materia orgánica, la compactación y el uso de agroquímicos. Sin embargo, en ese trabajo las relaciones entre abundancias y variables físicas y químicas no son tan claras como el efecto puntual del uso, que también se ve en las diferencias entre las variables físicas y químicas del suelo encontradas.

Otros autores han trabajado con grupos funcionales de la meso y macrofauna (Moço et al. 2010) y destacan la influencia de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre la diversidad de especies (aunque no sobre las densidades totales); según estos autores, el pH, los contenidos de C y N, la cantidad de arcillas, la suma de bases y la densidad aparente son las variables que explican las variaciones que observaron.



Figura 5. Representación esquemática e hipotética de las relaciones entre las características de los usos del suelo y la comunidad de macroartrópodos edáficos, basadas en resultados y en evidencia de la literatura (ver texto). En condiciones de baja intensidad de uso y alta complejidad del hábitat (SN) son más abundantes los grupos criptozoicos. Con alta intensidad de uso y baja complejidad del hábitat (SA) abundan los depredadores móviles. En condiciones intermedias de las tres variables consideradas (PG) predominan los caminadores de diferentes grupos funcionales. Aran: Araneae, Chil: Chilopoda, Dipl: Diplopoda, Blat: Blattodea, Col.a: Coleoptera adultos, Col.i: Coleoptera inmaduros, Derm: Dermoptera, Hem: Hemiptera, Hym: Hymenoptera, Lep.i: Lepidoptera inmaduros, Ort: Orthoptera, Isop: Isopoda.

Figure 5. Schematic and hypothetical representation of relationships between the land use characteristics and soil macroarthropods community, based on results and evidence from the literature (see text). In low use intensity and high habitat complexity conditions (SN) are more abundant cryptozoan groups. With high use intensity and low habitat complexity (SA) dominate mobile predators. In intermediate terms of the three variables considered (PG) walkers of different functional groups predominates.

Nuestros resultados muestran que la distribución y abundancia de los macroartrópodos en los sistemas evaluados están determinadas por la disponibilidad de alimento (en forma positiva) y por la intensificación agropecuaria (en forma negativa). Los sistemas cultivados tuvieron dominancia de un grupo pequeño de taxa, lo que refleja la simplificación en la estructura, aún cuando las características físicas y químicas no difieran entre usos.

El análisis de correlación canónica permite observar que existe una correlación negativa apreciable de la densidad aparente y la densidad de isópodos. A su vez, ésta se asocia positivamente con la densidad de lepidópteros. El porcentaje de materia orgánica y la relación C/N se correlacionan positivamente con las densidades de quilópodos y de lepidópteros y el porcentaje de nitrógeno con los hemípteros. Por último, existe un grupo de densidades positivamente correlacionadas entre sí: las de coleópteros adultos, coleópteros juveniles y arañas; esta asociación, como ya mencionamos, podría deberse a una vegetación más baja en los suelos ganaderos que favorecería el desplazamiento y la alimentación de estos grupos.

Las correlaciones por supuesto son sólo indicativas y no representan relaciones

causales; sin embargo las pueden sugerir. Si combinamos estos últimos resultados con los anteriores y un conocimiento general de la biología de los organismos presentes, podemos sintetizar los resultados y las nuevas hipótesis causales en un diagrama que permita interpretar cambios de la biota como indicadores de estados del suelo (Figura 5). Postulamos allí que la mayor complejidad del estrato herbáceo favorecería la abundancia de los grupos criptozoicos mientras que la simplificación de ese estrato y la compactación del suelo favorecerían relativamente a los grupos caminadores de superficie. Adicionalmente, los sistemas naturalizados brindarían también un ambiente sin factores adicionales de estrés. En este marco conceptual se podrían completar los ensambles característicos de otros tipos de uso o diferentes condiciones.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido realizado dentro del marco de becas doctorales concedidas por el Programa de Formación de Recursos Humanos (PRH No. 19) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y la Universidad Nacional de Luján. MDP realizó este trabajo con una beca del CONICET. Agradecemos el apoyo del Programa UBACyT 20020100100328, la colaboración de la Familia Carey, dueños del predio Las Acacias, y a la Universidad Nacional de Luján por permitir la realización de los muestreos en sus campos. Agradecemos también a dos revisores anónimos y a Adriana Salvo por los comentarios para mejorar el manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- AIZEN, MA; LA GARIBALDI & M DONDO. 2009 Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecol. Austral*, **19**:45-54.
- AQUINO, AM; ME FERNANDES & MV ALVES. 2008a. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. Pp. 143-170 em: F Moreira; JO Siqueira & L Brussaard (eds.). *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. Ed. UFLA. Lavras, Brasil. 768 pp.
- AQUINO, AM; R FERREIRA DA SILVA; FM MERCANTE; ME FERNANDES CORREIA; MF GUIMARÃES & P LAVELLE. 2008b. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *Eur. J. Soil Biol.*, **44**:191-197.
- ASSOCIATION OF ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL (AOAC). 1975. Official Methods of Analysis. 12th Ed. Washington, D.C.
- BEDANO, JC; MP CANTÚ & ME DOUCET. 2006. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Appl. Soil Ecol.*, **32**:293-304.
- BLAKE, GR & KH HARTGE. 1986. Bulk density. Pp. 363-375 in: A Klute (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd ed. Agronomy Monographs No. 9. SSSA. Madison, USA. 1173 pp.
- BRUSSAARD, L; V BEHAN-PELLETIER; D BIGNELL; V BROWN; W DIDDEN ET AL. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio*, **26**:563-570.
- CALLAHAN JR, MA; DD RICHTER JR; DC COLEMAN & M HOFMOCKEL. 2006. Long-term land-use effects on soil invertebrate communities in Southern Piedmont soils, USA. *Eur. J. Soil Biol.*, **42**:S150-S156.
- COLEMAN, DC; DA CROSSLEY, JR & PF HENDRIX. 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. Second Edition. Elsevier Academic Press. San Diego. 386 pp.
- CONTI, ME; N ARRIGO & M PALMA. 1980. Variabilidad espacial en determinaciones de carbono, nitrógeno, fósforo y pH de un muestreo sistemático de suelo. *Revista Facultad de Agronomía*, **1**:43-48.
- COTTINGHAM, KL; JT LENNON & BL BROWN. 2005. Knowing when to draw the line: Designing more informative Ecological Experiments. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **3**: 145-152.
- DAUBER, J; T PURTAUF; A ALLSPACH; J FRISCH; K VOIGTLÄNDER & V WOLTERS. 2005. Local vs. landscape controls on diversity: a test using surface-dwelling soil macroinvertebrates of differing mobility. *Global Ecol. Biogeogr.*, **14**:213-221.
- DIEKÖTTER, T; S WAMSER; V WOLTERS & K BIRKHOFFER. 2010. Landscape and management effects on structure and function of soil arthropod communities in winter wheat. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **137**:108-112.
- DINDAL, DL (ed.). 1990. *Soil Biology Guide*. John Wiley & Sons. New York. 1349 pp.
- DOMÍNGUEZ, A; JC BEDANO & AR BECKER. 2010. Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. *Soil Tillage Res.*, **110**:51-59.
- FALCO, LB & FR MOMO. 2010. Selección de hábitat: efecto de la cobertura y tipo de suelo en lombrices de tierra. *Acta Zoológica Mexicana*, **2**:179-187.
- FEIJOO-MARTÍNEZ, A; MC ZÚNIGA; H QUINTERO; AF CARVAJAL-VANEGAS & DP ORTIZ. 2010. Patrones de asociación entre variables del suelo y usos del terreno en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, **2**:151-164.
- GALANTINI, J & L SUÑER. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia*, **25**:41-55.
- GAVLAK, R; D HORNECK; RO MILLER & J KOTUBY-AMACHER. 2003. *Soil, Plant and Water Reference Methods for the Western Region*. 2nd ed. WREP-125, Western Region Extension Publication.
- GIUFFRÉ, L; C PASCALE; M CONTI; S RATTO & O HEREDIA. 1998. Variabilidad espacial del fósforo extractable a nivel de microescala durante el ciclo de un cultivo de trigo bajo dos sistemas de labranzas. *Agricultura Técnica*, **58**:276-284.
- INFOSTAT. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- LEGENDE, P & L LEGENDRE. 1998. *Numerical Ecology*. Second English Edition. Elsevier Science, Amsterdam. 853 pp.
- MOÇO, MKS; EF GAMA-RODRIGUES; AC GAMA-RODRIGUES; RCR MACHADO & VC BALIGAR. 2010. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. *Appl. Soil Ecol.*, **46**:347-354.
- MOMO, FR; CM GIOVANETTI & L MALACALZA. 1993. Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) y algunos parámetros fisicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. *Ecol. Austral*, **3**:7-14.
- PAOLETTI, MG & M BRESSAN. 1996. Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. *Crit. Rev. Plant Sci.*, **15**:21-62.
- SOIL SURVEY STAFF. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA, NRCS Eleventh Edition. Washington DC, USA. 338 pp.
- VELÁSQUEZ, E; P LAVELLE & M ANDRADE. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, **39**:3066-3080.