

RIQUEZA DE LOMBRICES DE TIERRA EN UN ARGIUJOL BAJO CULTIVO DE SOJA (COLONIA ENSAYO, ENTRE RÍOS)

Carolina E. MASIN¹, Alba R. RODRÍGUEZ¹⁻², María I. MAITRE¹⁻², Jorge CERANA³,
Juan P. HERNÁNDEZ³, Marta ANGLADA³, José H. ELIZALDE³, María del C.
LALLANA³

¹INTEC (Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química) – CONICET. Guemes 3450, 3000 Santa Fe. República Argentina.

²FHUC (Facultad de Humanidades y Ciencias) – UNL, Ciudad Universitaria 3000 Santa Fe. República Argentina.

³Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER. Ruta Prov. N°11, Km 10,5. CP 3100, Oro Verde, Paraná, Entre Ríos. República Argentina.

*Autor para correspondencia (cemasin@santafe-conicet.gov.ar)

RESUMEN

En las últimas décadas la producción agrícola experimentó una creciente demanda de insumos agroquímicos, en especial plaguicidas, con aplicación de siembra directa y reducción de rotaciones con tendencia al monocultivo soja. En este contexto, las prácticas de manejo aplicadas generan efectos en la biodiversidad del suelo. En particular, las lombrices cumplen un rol clave en las funciones ecosistémicas y responden a los cambios producidos por estas prácticas. Por lo cual constituyen un grupo muy apropiado para evaluar la calidad del suelo que habitan. El objetivo del trabajo fue evaluar la densidad y riqueza de la oligoquetofauna en un suelo bajo sistema de producción soja: rastrojo-suelo. El estudio se realizó en el campo experimental “Dr. Ramón J. Roldan” de la FCA-UNER (Diamante, Entre Ríos) con producción de soja mediante siembra directa y aplicación de plaguicidas (tratamientos: Glifosato/barbecho, Glifosato/barbecho-postemergencia y Glifosato/barbecho-postemergencia-Cipermetrina). Se determinaron características físicas y químicas del suelo y residualidad de plaguicidas en las tres zonas: baja, media y alta, determinadas en base a la topografía del lugar. La oligoquetofauna fue muestreada antes del inicio de los tratamientos (otoño y primavera 2013) y al finalizar los mismos (otoño 2014). En los muestreos de 2013 tanto la densidad como la riqueza mostraron diferencias por estación ($p < 0,05$), registrándose dos especies: *Aporrectodea rosea* y *Micros-colex dubius*. En otoño 2014 la densidad no mostró diferencias con la registrada en 2013, pero varió por tratamientos ($p < 0,05$) destacándose Glifosato/barbecho con el mayor valor (140 ind.m⁻²). Si bien la riqueza coincidió con la de 2013, la abundancia de *A. rosea* fue notablemente mayor, dominando las endogeas. Respecto a los residuos de glifosato y su metabolito AMPA hallados en este estudio, estarían afectando la abundancia y dinámica poblacional de oligoquetos.

Palabras clave: lombrices de tierra – suelo – sistema soja

*Original recibido (14/07/15)

Original aceptado (04/12/15)

SUMMARY

Richness of earthworms in an Argiudol soil under soybean (Colonia Ensayo, Entre Ríos)

Agricultural production with the incorporation of non-tillage, developed a very important increase of agrochemical application (specially plaguicidas). Earthworms play a crucial function in the soil ecosystem and are an appropriate indicator of soils quality. The aim of this work was to evaluate density and diversity of earthworms in soybean production fields. Tests were done in the experimental field "Dr. Ramón J. Roldán" of the FCA-UNER (Diamante-Entre Ríos) and consisted of the following treatments: Glyphosate/fallow; Glyphosate/fallow-postemergence and Glyphosate/fallow-postemergence-Cipermetrine. In coincidence with the field topography, the physical and chemical characteristics of the samples were determined at three levels: low, medial and high. Plaguicide residues were also determined. Earthworms were determined before the beginning and end of treatments (autumn and spring 2013, autumn 2014) respectively. Samples obtained during 2013 showed significant differences ($p < 0.05$) in density and diversity between seasons, with two species: *Aporrectodea rosea* and *Microscolex dubius* being identified. No differences in density were observed between autumn 2013 and 2014. Significant differences ($p < 0.05$) were obtained between treatments, principally Glyphosate/fallow with the highest value (140 ind.m⁻²). *A. rosea* was the most abundant specie. Glyphosate residues and AMPA metabolite were found, the results suggest that play an important role in the dynamics and abundance of earthworms.

Key words: earthworms – soil – soybean system

Introducción

En las últimas décadas la provincia de Entre Ríos, más precisamente el centro-este, experimentó un creciente avance en la producción agrícola, siendo el cultivo soja el de mayor superficie sembrada y compitiendo, a su vez, con los cultivos maíz y sorgo (SIBER, 2013). En este contexto, los insumos agroquímicos, en especial plaguicidas, presentan una creciente demanda (Lallana et al., 2013) acompañada de la aplicación de siembra directa y reducción de rotaciones con tendencia al monocultivo de la oleaginosa soja. Si bien algunos estudios (Gassen y Gassen, 1996; Brown et al., 2001) afirman que la siembra directa -como resultado de la falta de remoción del suelo y la presencia de rastrojo en superficie-, aumenta el contenido de

materia orgánica y la capacidad de almacenar agua, mejora la estructura física del suelo y regula la temperatura del mismo, otros autores (Cantú et al., 2001; Bedano et al., 2006; Domínguez et al., 2009), coinciden en que la siembra directa -sobre todo asociada al sistema monocultivo soja- genera procesos de degradación física, química y biológica de los suelos. Según Brown et al. (2001) y Lavelle et al. (2006), las prácticas de manejo que se apliquen en el suelo generan efectos en la biodiversidad edáfica, responsable de las funciones ecosistémicas. Es por ello que se considera a la abundancia y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados como indicadores válidos que reflejan aspectos que contribuyen a la calidad del suelo

(Velázquez *et al.*, 2007; Zamora *et al.*, 2007; Kherbouche *et al.*, 2012; Bartz *et al.*, 2014).

Las lombrices de tierra forman parte de la macrofauna del suelo y son las principales representantes del gremio funcional “ingenieros del ecosistema” (Lavelle, 1997; Jiménez *et al.*, 2001a). Estos organismos modifican el ambiente edáfico a través de sus actividades mecánicas produciendo estructuras físicas que facilitan la disponibilidad de recursos para otros organismos. Además son importantes reguladores de la actividad microbiana pues intervienen en la degradación de la materia orgánica aportando al suelo sus excrementos y exudados influyendo en la estructura y fertilidad del suelo (Lavelle *et al.*, 1994; Kladvko, 2001; Bedano *et al.*, 2004; Coleman *et al.*, 2004). Estas son algunas de las características de las lombrices de tierra que las constituyen en uno de los grupos más apropiados para evaluar la calidad del suelo, conjuntamente con su sensibilidad a los cambios del entorno edáfico (Edwards & Bohlen, 1996; Domínguez *et al.*, 2009).

El objetivo del trabajo fue evaluar la densidad y riqueza de la oligoquetofauna en un suelo bajo sistema de producción soja: rastrojo-suelo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el campo experimental “Dr. Ramón J. Roldan” (31°51’50’’S, 60°34’26’’O) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER, ubicado en Colonia Ensayo (Entre Ríos) (Figura 1). Corresponde a una peniplanicie ondulada-lomas altas y pendientes, cuyo material original es loes calcáreo con presencia de concreciones de carbonato de calcio. El suelo del campo pertenece al Orden Molisol, gran Grupo Argiudol ácuico de la Serie Tezanos Pinto, con fase moderadamente erosionada (Plan Mapa de Suelos, 1991). El drenaje y escurrimiento superficial se caracterizan como moderados, la permeabilidad lenta a muy lenta y la napa de agua profunda. El riesgo de anegamiento es escaso a nulo y sus limitantes erosión actual y potencial.

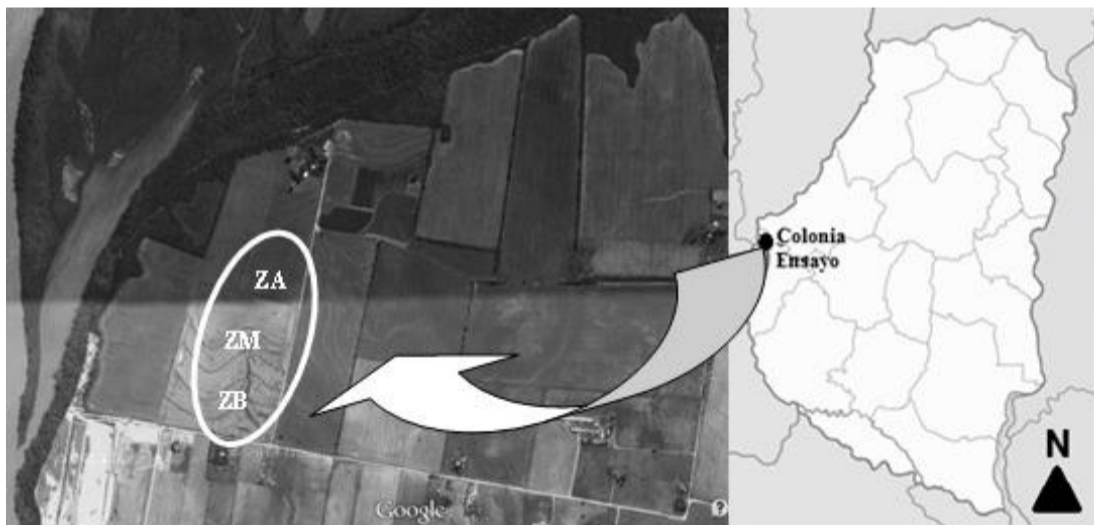


Figura 1. Lugar de estudio (cercado con un óvalo) ubicado en Colonia Ensayo, departamento Diamante (Entre Ríos). Según la pendiente del lugar: **ZA** (Zona Alta), **ZM** (Zona Media) y **ZB** (Zona Baja)

El suelo registra como mínimo, una data de 20 años de uso agrícola siendo utilizado para el desarrollo de estudios experimentales sobre siembra y producción de diferentes cultivos (soja, maíz, trigo, entre otros). Se considera en dichos trabajos la aplicación de prácticas de labranzas (convencional, mínima y directa) y uso de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas).

Caracterización del diseño experimental

En diciembre de 2013 se implantó soja tolerante a glifosato, cv Nidera STS 6002 con el sistema de siembra directa. Los tratamientos que se aplicaron fueron: Glifosato/barbecho (G/b); Glifosato/barbecho, Glifosato/postemergencia (G/b, G/p); Glifosato/barbecho, Glifosato/postemergencia-Cipermetrina (G/b, G/p-C) en las tres zonas: Zona Baja (ZB), Zona Media (ZM) y Zona Alta (ZA), determinadas en base a la topografía del lugar.

Antes de iniciar el ensayo se extrajeron de cada zona de estudio muestras de suelo para realizar la determinación de las propiedades físicas y químicas. Para ello, siguiendo un diseño al azar en forma de zigzag, se tomaron tres muestras a 25 cm de profundidad para evaluar: contenido de materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (Jackson, 1976); Nitrógeno total por Kjeldahl (Jackson, 1976); pH por el método potenciométrico en relación suelo-agua 1:2,5 p/v (Jackson, 1976); Densidad Aparente (DA) por el método del cilindro (Baver et al., 1973); Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) con uso de Acetato amonio 1 N pH 7 para la extracción de cationes intercambiables (Jackson, 1976) y textura por análisis granulométrico por sedimentación con pipeta de Robinson (Baver et al., 1973).

Se realizaron determinaciones de residuos¹ de plaguicidas sobre las parcelas donde se aplicaron los tratamientos, comprendiendo: glifosato y ácido aminometil-fosfónico (AMPA) en el barbecho previo a la siembra, en postemergencia del cultivo. El muestreo para determinar residuos de glifosato y AMPA en el suelo del lote experimental, se efectuó luego de dos campañas agrícolas, donde se aplicaron sobre las mismas parcelas idénticos tratamientos y fue realizado a los 30 días desde la aplicación.

La extracción y cuantificación de glifosato y AMPA, se realizó en el Laboratorio de Pesticidas del INTA Balcarce (Buenos Aires), mediante

cromatografía líquida de ultraresolución acoplada a un espectrómetro masa-masa con fuente de ionización electrospray (UPLC-MS/MS ESI). El límite de detección de la técnica utilizada para la determinación de glifosato y AMPA, fue de 0,3 y 0,4 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ respectivamente, y para el límite de cuantificación fue 0,8 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ para glifosato y 1,4 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ para AMPA.

Se incorporó la determinación de cipermetrina en las parcelas tratadas con glifosato en el barbecho y en postemergencia, y fueron realizadas en el Laboratorio del INTEC (Santa Fe). La detección se realizó utilizando la técnica QuEChERS y la identificación y cuantificación se realizó por cromatografía gaseosa, con equipo VARIAN Modelo 3400 provisto con columna capilar y detector de captura electrónica. La mínima cantidad cuantificable fue de 46 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de alfa-cipermetrina.

Oligoquetofauna terrestre (Annelida: Lumbricina)

Para el estudio de la oligoquetofauna se realizaron muestreos en otoño y primavera de 2013 antes del inicio de los tratamientos, como después de los mismos en otoño 2014 al finalizar la cosecha del cultivo. Se empleó la metodología clásica del programa TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility program) descrita por Anderson e Ingram (1993), donde se extrajeron al azar 12 monolitos de 30x30x30 cm en cada zona (Alta, Media y Baja). Cada monolito se revisó manualmente para extraer lombrices adultas, juveniles y ootecas. En el laboratorio de Ecotoxicología del Grupo Medio Ambiente (INTEC-UNL-CONICET) se realizó la diagnosis siguiendo las claves taxonómicas de Righi (1979), Mischis (1991) y Reynolds (1996). Por otra parte, se asignó cada especie a un grupo ecológico atendiendo la clasificación de Bouché (1977), para ubicarlas en relación a la posición que ocupan dentro del perfil del suelo y a la forma en que usan los recursos.

Análisis estadístico

Se determinaron densidad total de individuos por m^{-2} (ind.m^{-2}) y riqueza específica (S). Las diferencias entre densidad y riqueza en relación a las zonas y tratamientos se evaluaron mediante análisis Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Se realizó además Análisis de Componentes Principales

(ACP) para resumir las características físicas y químicas de los suelos estudiados y para interpretar la asociación entre estas variables edáficas. Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico INFOSTAT© (Di Rienzo *et al.*, 2012).

Resultados y discusión

Relevamiento de la oligoquetofauna previo a las aplicaciones de los tratamientos

Durante 2013 la densidad media resultó significativamente mayor en otoño que en primavera ($p < 0,01$), registrándose 94 y 4 ind. m⁻² respectivamente (Figura 2).

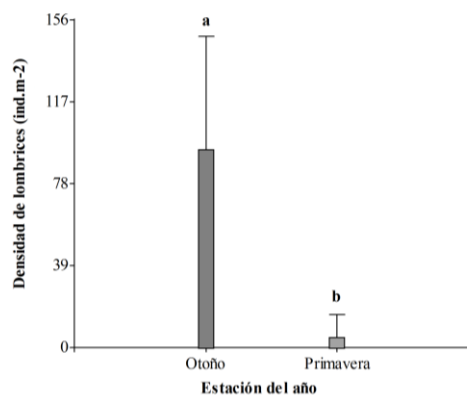


Figura 2. Densidad media de lombrices de tierra (individuos.m⁻²) por estación durante 2013. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

El número de individuos juveniles y adultos en otoño fue de 290 y 16

respectivamente, en tanto que en primavera se cuantificaron 15 individuos juveniles, de tamaño pequeño y varios de ellos en estado de quiescencia (Figura 3 A, B y C).

La quiescencia está relacionada a factores tales como compactación y contenido de humedad del suelo (Edwards & Bohlen, 1996; Jiménez *et al.*, 2001b; Jiménez *et al.*, 2001c; Domínguez *et al.*, 2009). Posiblemente esta diferencia marcada de la abundancia y dinámica poblacional registrada en el relevamiento estuvo asociada a factores ambientales, en especial déficit de agua en el suelo y temperaturas altas, que generaron una situación de estrés para estos invertebrados.

Las especies halladas durante el relevamiento de 2013 fueron *Microscolex dubius* y *Aporrectodea rosea*, pertenecientes a las familias Acanthodrilidae y Lumbricidae respectivamente (Figura 4).

La densidad de individuos de las especies mostró diferencias por estación y zonas de estudio ($p < 0,05$) (Figura 5).

La abundancia de *M. dubius* presentó diferencias significativas por estación ($p < 0,01$) y no por zonas, registrando 91 y 1 ind.m⁻² en otoño y primavera respectivamente. Por el contrario, la especie *A. rosea* mostró diferencias por zonas ($p < 0,01$) y no así por estación, presentando el mayor registro de individuos la zona Baja (8 ind.m⁻²) respecto a las zonas Media (1 ind.m⁻²) y Alta (0 ind.m⁻²) (Figura 5).



Figura 3. Lombrices de tierra: adulto (A), juvenil (B) y juvenil en estado de quiescencia (C)



Figura 4. Especies registradas en los muestreos estacionales, *Microscolex dubius* (A) y *Aporrectodea rosea* (B)

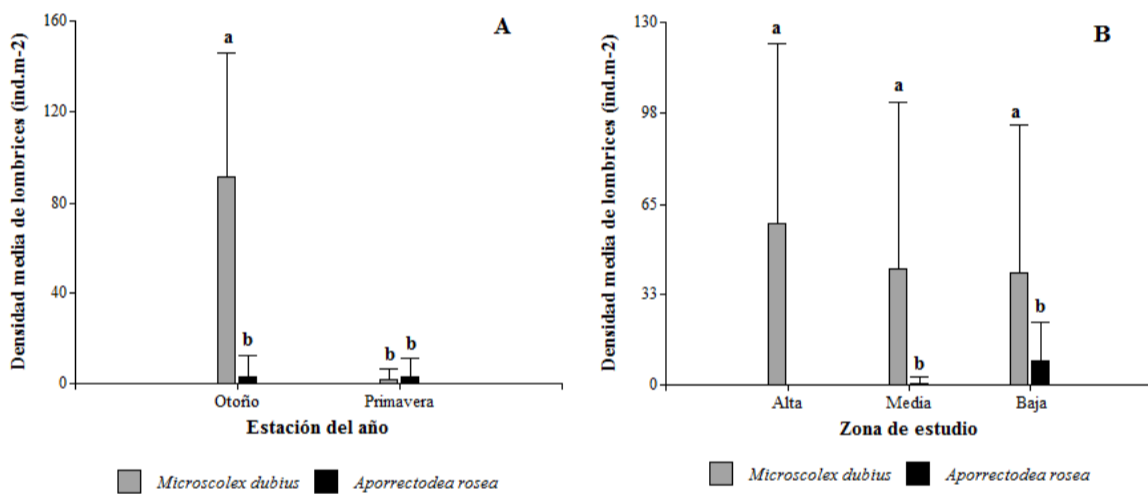


Figura 5. Densidad media de individuos por m⁻² de las especies de lombrices en relación a la estación (A) y zonas de estudio (B). Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05)

La especie *M. dubius* es nativa y epigea-endogea mientras que *A. rosea* es exótica y endogea. Las lombrices epigeas viven sobre la superficie del suelo bajo la hojarasca, asociadas a acúmulos de MO, mientras que las anécicas y endogea viven dentro del suelo alimentándose de MO finamente particulada y fracción inorgánica. Las anécicas construyen galerías verticales simples y las endogea las hacen en varias direcciones formando una trama

tridimensional dentro del perfil (Bouché, 1977; Herrera y Mischis, 2007).

Relación entre las propiedades físicas y químicas del suelo y la oligoquetofauna presente

El tipo de suelo de las zonas estudiadas resultó Argiudol ácuico franco arcillo limoso (Tabla 1). La Figura 6 representa gráficamente el ACP de las variables físicas y químicas del suelo de las zonas, donde las

dos primeros componentes explicaron el 90% (67,3 y 22,7%) de la variabilidad total en las observaciones. Las variables ambientales que resultaron significativamente asociadas con la abundancia de las especies fueron MO, CIC, N, DA y pH ($p < 0,05$). La densidad de *M. dubius* estuvo más

relacionada a niveles de MO, CIC y pH levemente ácido registrados por la zona Alta. Respecto a los individuos de *A. rosea* mostraron mayor asociación a contenidos menores de MO, DA, CIC y N registrados por la zona Baja.

Tabla 1. Características químicas y físicas de los suelos en las tres zonas estudiadas

Características	Zonas			
	Alta	Media	Baja	
Materia Orgánica (%)	3,33	3,89	3,04	
pH	6,72	6,69	6,73	
Densidad Aparente (g.cm ⁻³)	1,10	1,21	1,00	
Capacidad de Intercambio Catiónico (me.100g ⁻¹)	27,10	22,97	22,23	
P disponible mg.kg ⁻¹	11,20	36,80	36,5	
N de nitratos mg.kg ⁻¹	8,90	14,30	9,00	
Textura (%)	Arena	12,40	7,90	14,30
	Limo	49,90	58,10	50,20
	Arcilla	37,70	34,00	35,50

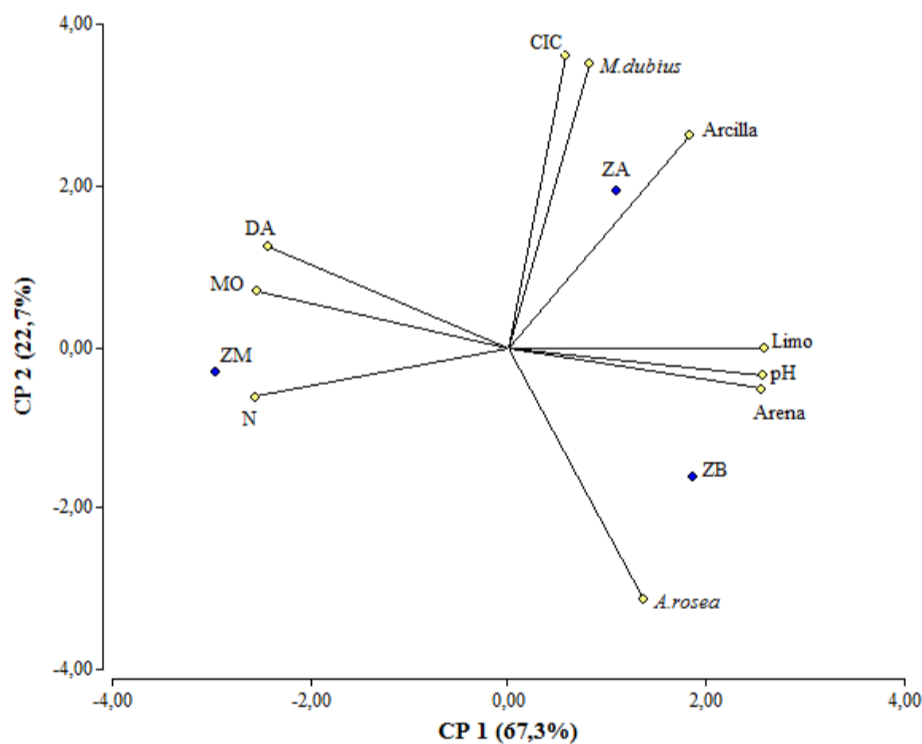


Figura 6. Biplot resultante del ACP de las variables físicas y químicas del suelo de las zonas y la densidad de individuos de las especies registradas

Cuendet (1984) y Momo *et al.* (1993, 2003) relacionan la presencia de ejemplares del género *Aporrectodea* con ambientes perturbados por actividad agropecuaria, y a *M. dubius* con suelos ricos en MO y poco perturbados. Asimismo Burela y Cazzaniga (2001) postulan que *A. rosea* y *M. dubius* muestran un nicho ecológico más amplio, adaptándose a condiciones adversas tales como estrés hídrico o baja estabilidad estructural, actuando así como especies de transición.

Un estudio realizado por Falco *et al.* (2015), también en un suelo tipo Argiudol con uso agrícola intensivo localizado en la Pampa Argentina, registró la misma asociación común con el presente trabajo de las especies *A. rosea* – *M. dubius*. Las diferencias en los parámetros físicos y químicos del suelo y de los requerimientos de las especies determinan la co-ocurrencias de las mismas en cada sistema.

Relevamiento de la oligoquetofauna posterior a las aplicaciones de los tratamientos

La densidad de oligoquetos terrestres no mostró diferencias significativas entre otoño 2013 y 2014 ($p > 0,05$), registrándose 94 ind. m^{-2} antes del inicio de los tratamientos y 89 ind. m^{-2} después de los mismos.

En relación a los tratamientos (G/b; G/b, G/p; G/b, G/p-C) aplicados en cada zona, el número de oligoquetos varió significativamente ($p < 0,05$), destacándose G/b con el mayor valor (140 ind. m^{-2}) respecto a los otros tratamientos (88 y 66 ind. m^{-2} en G/b, G/p-C y G/b, G/p respectivamente) (Fig. 7).

La dinámica poblacional también mostró variaciones entre los tratamientos, primando los organismos en estadio juvenil sobre los adultos. La disminución de la actividad y el retardo en el crecimiento y la maduración de los organismos pueden deberse también a la utilización de distintos agrotóxicos (Edwards y Bohlen, 1996) entre ellos el glifosato (Paldy *et al.*, 1988; Cox, 2000)

utilizado ampliamente en las zonas agrícolas evaluadas. Según Mele y Carter (1999), Clemente *et al.* (2003) y Domínguez *et al.* (2009) la siembra directa en sí misma, su efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo sumado a la aplicación de agrotóxicos, afectan marcadamente las poblaciones de lumbrícidos.

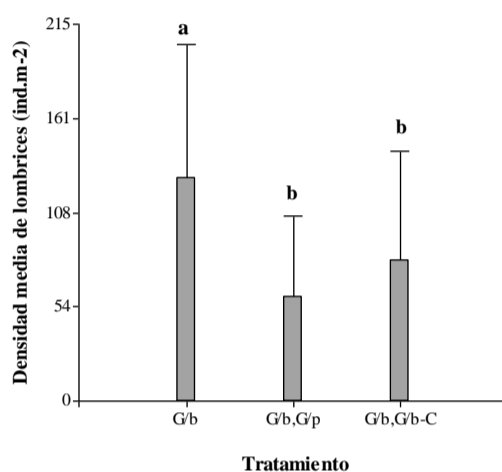


Figura 7. Densidad media de oligoquetos terrestres en relación a los suelos con diferentes tratamientos. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

En otoño 2014 y coincidiendo con los muestreos 2013, la riqueza de especies fue de dos siendo *A. rosea* y *M. dubius*. La abundancia fue de 213 y 104 individuos para *A. rosea* y *M. dubius* respectivamente. A diferencia de lo registrado en otoño 2013, en el muestreo de 2014 *M. dubius*, disminuyó su abundancia registrando 104 organismos, mientras que *A. rosea* incrementó sustancialmente el registro, 213 individuos. Según Falco *et al.* (2015) las especies *M. dubius* y *A. rosea* muestran diferentes patrones temporales y asociaciones de especies, debido a los cambios en las propiedades del suelo atribuibles al uso y manejo intensivo del mismo, que se define como la cantidad y tipo de labranzas agrícolas.

El predominio de especies endógenas es importante por el rol que juegan en los procesos edáficos, ya que ingieren grandes cantidades de partículas orgánicas y minerales para formar luego bioagregados, construyen extensas galerías a través de los horizontes del suelo y establecen relaciones mutualistas con la microflora del suelo presentes en sus intestinos (Fragoso *et al.*, 1997), aceleran la tasa de mineralización y la disponibilidad de agua y nutrientes (Brown *et al.*, 2004). En este sentido, la reducción de la abundancia de especies endógenas en las zonas cultivadas puede llevar a cambios drásticos, puesto que regulan muchos procesos físicos y químicos del suelo a corto, mediano y largo plazo (Fragoso *et al.*, 1997; Domínguez *et al.*, 2009).

Comportamiento del glifosato en suelo

La información sobre el movimiento y la persistencia del glifosato en suelos es variada. De acuerdo con la EPA (1994), el glifosato que llega al suelo es fuertemente adsorbido, aún en suelos con bajos contenidos de arcillas y MO.

Las determinaciones analíticas permitieron detectar y cuantificar concentraciones entre 1 y 30 mg.kg⁻¹ y entre 2 y 8,5 mg.kg⁻¹ de glifosato, en las aplicaciones efectuadas en barbecho y en postemergencia del cultivo, respectivamente. En cuanto al AMPA, los valores obtenidos variaron entre 48,5 y 189,5 mg.kg⁻¹ y entre 23 y 179 mg.kg⁻¹, en barbecho y postemergencia respectivamente.

Según Maitre *et al.* (2004) y Bozzo (2010) el AMPA es adsorbido a las partículas del suelo posiblemente más fuerte que el glifosato y por lo tanto, su degradación es más lenta. El metabolito AMPA al ser estructuralmente similar al glifosato, se acumula debido a que los organismos responsables no presentan la suficiente variedad de enzimas para dar lugar a la transformación completa, en

particular como intermediario en las secuencias metabólicas normales.

Richard *et al.* (2005) postulan que el glifosato actúa como un disruptor de la actividad de la citocromo P450, isozima que juega un papel importante en el metabolismo de sustancias xenobióticas que ingresan al organismo.

En los tratamientos mencionados y con las concentraciones de glifosato y AMPA determinadas, la densidad de oligoquetos terrestres fue mayor en G/b, donde se realizó una sola aplicación del herbicida. Una investigación de Bravo (2007) en Nueva Zelanda mostró que el glifosato tenía efectos significativos en el crecimiento y sobrevivencia de lombrices comunes del suelo, donde aplicaciones cada 15 días en dosis bajas (1/20 de la dosis normal) redujeron el crecimiento e incrementaron el tiempo de madurez y la mortalidad.

Comportamiento de la cipermetrina en el suelo

El análisis de determinación del piretroide cipermetrina, 22 días desde la aplicación en las muestras del suelo en estudio, no detectó el compuesto sobre el límite de determinación estimado.

Los piretroides se adsorben fuertemente a la superficie del suelo y se consideran poco móviles. Se degradan más rápidamente que muchos otros plaguicidas y la biodegradación juega un papel importante en la desaparición de estos compuestos en suelos. La cipermetrina tiene moderada persistencia en el suelo, degradándose más rápidamente en suelos ligeros (arenosos) o que contienen baja cantidad de MO respecto a los pesados (arcillosos).

Conclusiones

La dinámica de la comunidad de lombrices de tierra varió ante las alteraciones del ambiente edáfico, fundamentalmente al impacto de las prácticas de laboreo aplicadas al cultivo de soja.

La densidad de las dos especies de lombrices, *M. dubius* y *A. rosea*, así como la relación adultos/juveniles reflejaron el impacto producido por la intensidad de uso y manejo del suelo. La presencia de residuos de glifosato y su metabolito AMPA hallados en este estudio, estarían afectando la abundancia de oligoquetos de ambas especies. De esta manera, las lombrices de tierra son útiles como indicadores de evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción.

Es necesario avanzar en el conocimiento del impacto producido por los sistemas agrícolas implementados en la actualidad sobre la calidad y biología de los suelos.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Entre Ríos con fondos asignados al PID UNER 2012 “Bioensayos para la detección de plaguicidas como agentes contaminantes en los componentes del sistema soja: suelo – rastrojo. Un enfoque interdisciplinario”.

Nota:

¹Residuo: cualquier sustancia específica presente en o sobre los alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales como consecuencia del uso de un plaguicida. El término incluye cualquier derivado de un plaguicida, como productos de conversión, metabolitos, productos de reacción, e impurezas consideradas de importancia toxicológica. El término “residuo de plaguicidas” incluye tanto los residuos de procedencia desconocidas o inevitables (por ejemplo, ambientales), como los derivados de usos conocidos de la sustancia química (FAO, 2006).

Referencias bibliográficas

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. (1993). Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods, Second Edition. CABI Publishing. Wallingford, UK. 240 pp.
BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; GONÇALVES da Rosa, M.; FILHO, O. K.; JAMES, S. W.; DECAËNS, T.; BARETTA,

D. (2014). Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. *Applied Soil Ecology* 83:59-70.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. (1973). Física de suelos. Ed. UTEHA. México. 529 p.

BEDANO, J. C.; CANTÚ, M.; DOUCET, M. (2004). La influencia de distintos sistemas productivos en la densidad de ácaros edáficos en agroecosistemas de Córdoba, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22(2): 119-106.

BEDANO, J. C.; CANTÚ, M. P.; DOUCET, M. E. (2006). Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology* 32:293-304.

BOUCHÈ, M. 1977. Stratègies lombriciennes. *Ecological Bulletin* 25:122-132.

BOZZO DE BRUM, M.A. (2010). Persistencia del glifosato y efecto de sucesivas aplicaciones en el cultivo de soja en agricultura continua en siembra directa sobre parámetros biológicos del suelo. Tesis de Posgrado. Universidad de la Republica. Facultad de Ciencias. Maestría en Ciencias Ambientales. Montevideo, Uruguay. 135 pp.

BRAVO, E (2007); Impactos del Glifosato en el Medio Ambiente. Recopilación. Red por una América Latina Libre de Transgénicos, Boletín 241. 21pp.

BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*. 59: 39-45.

BROWN, G. G.; FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; ROJAS, P.; PATRÓN, J. C.; BUENO, J.; MORENO, A. G.; LAVELLE, P.; ORDAZ, V.; RODRÍGUEZ, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mejicanos. *Acta Zoológica Mexicana*. (n.s.) N (spec.) 1:79-110.

BROWN, G. G.; MORENO, A. G.; BAROIS, I.; FRAGOSO, C.; ROJAS, P.; HERNÁNDEZ, B.; PATRÓN, J. C. (2004). Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:313-327.

BURELA, S.; CAZZANIGA, N. J. (2001). Earthworms from suthern Buenos Aires

RCA. Rev. cient. agropecu. 19(1-2): 39-50 (2015)

- province, Argentina. *Megadrilologica* 8(9):49-52.
- CANTÚ, M. P.; BECKER, A. R.; BEDANO, J. C.; SCHIAVO, H. F. (2001). Indicadores e índices de degradación de suelos en la región central templada húmeda de Argentina. *Acta XV Congreso Latinoamericano Ciencia del Suelo*. CD 4pp.
- CLEMENTE, N. L.; LÓPEZ, A. N.; VINCINI, A. M.; CASTILLO, H. A.; CARMONA, D. M.; MANETTI, P. L.; SAN MARTINO, S. (2003). Abundancia de megadrilos (Annelida: Oligochaeta) en diferentes sistemas de producción. *Ciencia del Suelo* 21 (2):35-43.
- COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A.; HENDRIX, P. F. (2004). *Fundamentals of Soil Ecology*. Second Edition. Elsevier Academic Press. USA. 386pp.
- COX, C. (2000). Herbicide Factsheet: Glyphosate (Roundup). *Journal of Pesticide Reform* 18 (3). Actualizado Octubre 2000. Disponible en: www.pesticide.org/gly.pdf.
- CUENDET, G. (1984). A comparative study of the earthworm population of four different woodland types in Wytham Woods, Oxford. *Pedobiologia* 26:421-439.
- DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. (2008). InfoStat, versión 2012, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DOMÍNGUEZ, A.; BEDANO, J. C.; BECKER, A. R. (2009). Cambios en la comunidad de lombrices de tierra (Annelida: Lumbricina) como consecuencia del uso de la técnica de siembra directa en el centro-sur de Córdoba, Argentina. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 27(1): 11-19.
- EDWARDS, C. A.; BOHLEN, P. J. (1996). *Biology and Ecology of Earthworms*. Third Edition. Chapman & Hall. London, UK. 426pp.
- EPA (Environmental Protection Agency) 1994. Registration Eligibility Decision (RED). Glyphosate. 292pp.
- FALCO, L. B.; SANDLER, R.; MOMO, F.; DI CIOCCO, C.; SARAVIA, L.; COVIELLA, C. (2015). Earthworm assemblages in different intensity of agricultural uses and their relation to edaphic variables. *PeerJ* 3: 1-18.
- FAO. (2006). Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas (Versión Revisada). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 35 pp.
- FRAGOSO, C.; BROWN, G. G.; PATRÓN, J. C.; BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; PASHANASI, B.; SENAPATI, B.; KUMAR, T. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology* 6: 17-35.
- GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. 1996. *Plantio direto. O caminho do futuro*. Aldeia Sul, Passo Fundo. 207pp.
- HERRERA, J. A. D.; MISCHIS, C. C. (2007). Lombrices de tierra de las Yungas: taxonomía, biogeografía y ecología en áreas de selva subtropical (Provincia de Jujuy, Argentina). *Sessao* 16. 255-264. *In: Minhocas na América Latina: Biodiversidade e Ecologia*. Brown G. G.; Fragoso C. (eds.). Londrina, Brasil. 539 pp.
- JACKSON, M. L. (1976). Determinación de los cationes metálicos canjeables de los suelos. (p.:123-189). En: *Análisis químico de suelos*. Ed. Omega S. A., Barcelona, España, 662 pp.
- JIMÉNEZ, J. J.; DECAËNS, T.; THOMAS, R. J.; LAVELLE, P. (2001a). Chapter 1: Soil Macrofauna: An available but Little-known natural resource. *In: Jiménez, J. J. & Thomas, R. J. (eds.)*. Nature's plow: soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia. *Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical*. Cali, Colombia.
- JIMÉNEZ, J. J.; MORENO, A. G.; LAVELLE, P.; DECAËNS, T. (2001b). Chapter 5: Population dynamics and adaptive strategies of *Martiodrilus carimaguensis* (Oligochaeta: Glossoscolecidae), a native species from the well-drained savannas of Colombia. *In: Jiménez, J. J. & Thomas, R. J. (eds.)*. Nature's plow: soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia. *Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical*. Cali, Colombia.
- JIMÉNEZ, J. J.; BROWN, G. G.; DECAËNS, T.; FEIJOO, A.; LAVELLE, P. (2001c). Chapter 9: Differences in the timing of diapause and patterns of aestivation in tropical earthworms. *In: Jiménez, J. J. &*

- Thomas, R. J. (eds.). Nature's plow: soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia. Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- KHERBOUCHE, D.; BERNHARD - REVERSAT, F.; MOALI, A.; LAVELLE, P. (2012). The effect of crops and farming practices on earthworms communities in Soummam valley, Algeria. *European Journal of Soil Biology* 48:17-23.
- KLADIVKO, E. J. (2001). Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research* 61: 61-76.
- LALLANA, M. del C.; LALLANA, V. H.; BILLARD, C. E.; FOTI, M. N.; ELIZALDE, J. H. (2013). Determinación de reducción del crecimiento radical (CE50) por una formulación del glifosato utilizando lechuga y trigo como especies bioindicadoras. *Revista FCA UNCUYO* 45(1):143-151.
- LAVELLE, P.; DANGERFIELD, C.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D.; PASHANASI, B.; BRUSAARD, L. (1994). Chapter 6: The relationship between soil macrofauna and tropical fertility. *In: The Biological management of tropical Soil Fertility*. Wooster, P. L. & Swift, M. J. (eds.) TSBF. A Wiley-Sayce Publication.
- LAVELLE, P. (1997). Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research* 27:93-102.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42:S3-S15.
- MAITRE, M. I.; LENARDON, A.; LORENZATTI, E.; ENRIQUE, S. (2004). Adsorción-desorción del herbicida Glifosato en dos suelos del litoral argentino. *Libro de Resúmenes XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná - Entre Ríos 536p.
- MELE, P. M.; CARTER, M. R. (1999). Impact of crop management factors in conservation tillage farming on earthworm density, age structure and species abundance in south-eastern Australia. *Soil and Tillage Research* 50:1-10.
- MISCHIS, C. C. (1991). Las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias Córdoba* 59(3 y 4):187-237.
- MOMO, F. R.; GIOVANETTI, C. M.; 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.
- MOMO, F. R.; FALCO, L. B.; CRAIG, E. B. (2003). Las lombrices de tierra como indicadores del deterioro del suelo. *Revista de Ciencia y Tecnología* 8:55-63.
- PALDY, A.; PUSKAS, N.; FARKAS, I. (1988). Pesticide use related to cancer incidence as studied in a rural district of Hungary. *Science Total Environmental* 73(3):229-44.
- PLAN MAPA DE SUELO. (1991). Carta de Suelos del Departamento Diamante. Serie de Relevamiento de Recursos Naturales N° 9. Convenio Provincia de Entre Ríos-INTA. 258 pp.
- REYNOLDS, J. W. (1996). Earthworm biology and ecology. Course Manual. Sir Sandford Fleming College. Lyndsay, Canada. 196pp.
- RICHARD, S.; MOSLEMI, S.; SIPAHUTAR, H.; BENACHOUR, N.; SERALINI, G.E. (2005). Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. *Environmental Health Perspectives* 113(61):716-720.
- RIGHI, G. (1979). Introducción al estudio de las lombrices del suelo (Oligoquetos Megadrilos) de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista de la Asociación de Ciencias Naurales del Litoral* 10:89-155.
- SIBER (2013). <http://www.diariovictoria.com.ar/2013/12/el-siber-proyecta-1-405-000-hectare-as-de-soja-en-entre-rios/>. [Consulta 3 de junio de 2015]
- VELÁZQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. (2007). GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry* 39:3066-3080.
- ZAMORA, J.; VERDÚ, J.R.; GALANTE, E. (2007). Species richness in Mediterranean agroecosystems: Spatial and temporal analysis for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 134:113-121.