

Poblaciones de Ácaros, Colémbolos y otra Mesofauna en un Inceptisol bajo Diferentes Manejos

Populations of Mites, Collembola and other Mesofauna in an Inceptisol under Different Management

Elida Patricia Marín Beitia¹; Marina Sánchez de Prager²; Alexandra Sierra Monrroy³
y Martha Rocío Peñaranda Parada⁴

Resumen. En un suelo Humic dystrudepts sembrado con maíz y ubicado en Palmira (Colombia), se estimaron cambios en poblaciones de mesofauna (con énfasis en ácaros y colémbolos) y en algunas de sus propiedades físicas ocasionados por el uso de abonos verdes (AV). Se establecieron cinco tratamientos bajo un diseño experimental de bloques completos al azar: Testigo, Fertilización química, AV, Compost, y AV más Compost. El AV fue una mezcla de *Canavalia ensiformis* L. y *Axonopus scoparius* Hitchc. La mesofauna se extrajo con un cilindro metálico de 10 cm de diámetro y 5 cm de altura. Los meso invertebrados se separaron por el método Berlesse-Tullgren y se estimó su riqueza en unidades taxonómicas (UT) y abundancia en número de individuos/1000 cm³ de suelo, separando los primeros 10 cm de profundidad. Los muestreos se realizaron en cuatro etapas: antes del establecimiento de los AV, durante el periodo de crecimiento de los AV, ocho semanas después de la adición de los AV y en etapa de cosecha del maíz. El análisis estadístico mostró que la mayoría de diferencias significativas ocurrió entre las épocas de muestreo y en menor proporción entre tratamientos. Los ácaros y colémbolos fueron las poblaciones dominantes dentro de la mesofauna del suelo. El corte y adición de los AV y el compost incrementaron sus poblaciones, siendo los ácaros *Oribátida* y *Mesostigmata* y los colémbolos *Entomobryidae* e *Isotomidae* los más abundantes. La densidad aparente, estabilidad de agregados, ácaros y colémbolos mostraron sensibilidad a los cambios introducidos en el sistema maíz por el uso de los abonos verdes y compost.

Palabras clave: Abonos verdes, materia orgánica, propiedades físicas, mesoinvertebrados.

Abstract. In a Humic Dystrudepts soil located in Palmira (Colombia), changes in populations of mesofauna (with emphasis on mites and collembola) and some of their physical properties due to the use of green manures (GM) were evaluated. Five treatments were established in a randomized complete block design: control, chemical fertilization, GM (green manure), Compost and GM plus Compost. The GM was a mixture of *Canavalia ensiformis* L. and *Axonopus scoparius*, Hitchc. Mesofauna was extracted using a metal cylinder of a diameter of 10 cm and 5 cm height. The mesoinvertebrates were separated by the Berlesse-Tullgren method and estimated its richness in taxonomic units (TU) and abundance in number of individuals/785.4 cm³ soil, separating the first 10 cm depth. Sampling was carried out during four periods: before the establishment of the GM, GM growing stage, eight weeks after the addition of the GM and at corn harvest period. Statistical analysis showed that most significant differences occurred among sampling periods and to a lesser extent among treatments. Mites and Collembola constituted the dominant populations in the soil mesofauna. Cutting and adding compost and GM increased populations, being *Oribatida* and *Mesostigmata* mites and collembola *Entomobryidae* and *Isotomidae* the most abundant. The bulk density, aggregate stability, mites and collembola were sensitive to changes in the corn system using green manure and compost.

Key words: Green manure, organic matter, physical properties, mesoinvertebrates.

Los mesoinvertebrados del suelo se incluyen cada vez con mayor frecuencia en monitoreos y evaluaciones ambientales, como indicadores confiables de cambio ecológico, debido a su abundancia, diversidad, facilidad de recolección, respuesta rápida a perturbaciones del medio ambiente y a su papel funcional (Barbercheck et al., 2009; Bedano et al., 2011; Karyanto et al., 2011; Peredo et al., 2012).

Algunas especies de ácaros y colémbolos se han registrado por su respuesta a cambios en el suelo debidos a acciones antrópicas (Barbercheck et al., 2009; Koehler y Melecis, 2010; Bedano et al., 2011; Peredo et al., 2012). A la vez, se ha demostrado que el estudio de estas poblaciones permite relacionar su composición con características físico-químicas del suelo y con el tipo de vegetación que sustenta (Barrios, 2007).

¹ Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, A.A. 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. <epmarinb@unal.edu.co>

² Profesora Titular. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira - Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. <msanchezpr@unal.edu.co>

³ Bióloga. Línea Protección de Cultivos. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, A.A. 237. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. <phacellophora@gmail.com>

⁴ Bióloga. Museo Entomológico UNAB, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. - Facultad de Agronomía. Carrera 30 No. 45-03, Bogotá, Colombia. <martarociopenaranda@yahoo.es>

Con relación a la incorporación de abonos verdes (AV), práctica común en la agricultura orgánica, varios estudios han mostrado que su uso incrementa la mesofauna del suelo y beneficia su conservación y diversidad (Kautz *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2011). También, se ha registrado que la incorporación de fuentes orgánicas como compost estimula el incremento de sus poblaciones (Socarrás y Rodríguez, 2001; Navarro *et al.*, 2012).

Estas comunidades se favorecen por varias razones: aumento en poblaciones de microorganismos que le sirven de alimento; por efecto del crecimiento de los abonos verdes (AV) y de su posterior descomposición y, por el incremento y conservación de la materia orgánica, la cual influye en la estructura del suelo, disponibilidad de nutrientes, capacidad de retención de agua, aireación y capacidad de intercambio catiónico, entre otras (Axelsen y Kristensen, 2000; Kautz *et al.*, 2006; Nakamoto y Tsukamoto, 2006; Mazzoncini *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2011; FAO, 2012). Por el contrario, la perturbación asociada a prácticas de manejo como labranza, uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas

de síntesis química industrial, altera la diversidad, abundancia, biomasa y distribución espacial de la biota del suelo (Bedano *et al.*, 2006; Mazzoncini *et al.*, 2010).

En este contexto, la investigación busca estimar los cambios en poblaciones de mesofauna en un suelo con y sin aplicación de abono verde y sembrado con maíz (*Zea mays* L.), relacionando su presencia con algunas propiedades físicas del suelo como: densidad aparente, estabilidad de agregados y retención de humedad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se realizó en la Finca Las Flores ubicada en la Vereda El Mesón, Corregimiento de Chontaduro, zona de ladera del Municipio de Palmira, Departamento del Valle del Cauca (Colombia), la cual se ha manejado mediante prácticas agroecológicas durante más de seis años. Las características químicas del suelo se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico del suelo de la finca "Las Flores" antes del establecimiento de los abonos verdes. Palmira (Colombia).

Tratamiento	pH	MO (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K Ca Mg Al CIC					S B Fe Mn Cu Zn					
				(cmol kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)					
Testigo	5,6	56,9	0,9	0,2	9,2	5,0	0,1	30,6	27,1	0,3	5,6	155,7	2,6	4,0
Químico	5,4	58,5	1,3	0,3	9,4	6,6	0,1	26,6	37,4	0,4	6,6	174,7	3,3	5,2
Abono verde (AV)	5,3	55,6	2,0	0,2	9,9	6,4	0,1	28,6	34,3	0,3	7,8	151,0	3,5	4,4
Compost (C)	5,3	55,4	1,0	0,1	11,0	5,8	0,1	31,4	23,7	0,2	7,3	168,4	2,9	4,1
AV+C	5,4	57,2	0,6	0,2	10,7	6,4	0,1	29,5	26,8	0,4	6,5	158,8	2,6	4,7

pH (agua, 1:1, V:V); Carbón orgánico % (materia orgánica) (Walkley and Black); P (Bray II); K, Ca, Mg, Na (Espectrometría de emisión atómica); Al (KCl 1M); Cu, Zn, Mn y Fe (Espectrometría de absorción atómica, en doble ácido); CIC (acetato de amonio 1N); S (Turbidimetría, en Fosfato de calcio); B (Espectrometría molecular); Mo (oxalato ácido de amonio).

Se realizaron cinco tratamientos con 3 repeticiones, dispuestos en un diseño experimental de bloques completos al azar: Testigo (TA), Fertilización química (Q), Abono verde (AV), Compost (C) y AV más Compost (AV+C). La unidad experimental correspondió a una parcela de 2,5 m de ancho por 4 m de largo, con un área total de 10 m². El AV fue una mezcla de *Canavalia ensiformis* L. y *Axonopus scoparius* Hitchc. El corte de estos materiales vegetales se efectuó en etapa de prefloración de la *C. ensiformis*. A los 15 días de incorporados, se sembró el maíz variedad ICA V 305. Debido a problemas con la emergencia de la semilla, fue necesario realizar

una segunda siembra, retrasando el experimento 30 días. El cultivo se cosechó a los 180 días de sembrado.

Método de muestreo de la mesofauna. Las muestras se tomaron en cuatro etapas: 1) Antes de la siembra de los AV, 2). Periodo de crecimiento de los AV, 3), 8 semanas después de incorporación de AV y 4). Cosecha del cultivo de maíz. En cada etapa de muestreo se extrajeron dos muestras por repetición. Cada muestra se dividió en: mantillo, 0-5 y 5-10 cm. Para la extracción se utilizó un cilindro metálico de 10 cm de diámetro y 5 cm de altura y para su separación

se empleó el método de Berlesse-Tullgren (Pochon *et al.*, 1969). Adicionalmente, se realizó un análisis químico completo del suelo y se caracterizaron algunas variables físicas como humedad (secado en estufa), densidad aparente (método del cilindro), textura (método de la Pipeta) y estabilidad de agregados (método de Yoder) (González, 1979; Gómez, 1999; Jaramillo, 2002). Debido a que no se realizó mayor perturbación al suelo en la etapa de crecimiento de AV, se consideró para las variables físicas densidad aparente y estabilidad de agregados tomar las muestras en tres épocas: a. Antes de la siembra de los AV, b. Después de incorporación de AV y c. Cosecha cultivo de maíz.

Análisis de la información. Se cuantificó la abundancia de mesofauna por volumen de muestra (no. Individuos/1.000 cm³). Se estimó su diversidad en unidades taxonómicas (UT), y su distribución vertical, el cual fue expresado como porcentaje de individuos por estrato de suelo (mantillo, 0-5 cm y 5-10 cm).

Se realizó análisis de varianza para abundancia de mesofauna, humedad del suelo, densidad aparente y estabilidad de agregados con un nivel de significancia del 5%, y se hizo la prueba de promedios múltiple de Tukey. Los resultados fueron evaluados con el programa estadístico SAS versión 9.13 (2013). Se establecieron correlaciones entre los grupos de mesofauna estudiados y las características físicas y químicas del suelo, utilizando el coeficiente de correlación poblacional de Pearson.

Tabla 2. Análisis de varianza para las propiedades físicas del suelo utilizado para estimar los cambios en las poblaciones de mesofauna. Finca "Las Flores" Palmira (Colombia)

Fuente de variación	GL	Humedad		Densidad aparente		Estabilidad de agregados	
		CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F
Profundidad	1	376.426	0,03 *	0,009	0,13 ns	---	---
Tratamiento	4	80.907	0,07 ns	0,006	0,55 ns	0,011	0,07 ns
Tratamiento*Profundidad	4	23.937	0,55 ns	0,003	0,44 ns	---	---
Época	3	2.517,01	0,00 ***	0,028	0,00 **	0,068	0,00 ***
Época*Profundidad	3	33.449	0,39 ns	0,004	0,49 ns	---	---
Época*Tratamiento	12	39.730	0,29 ns	0,001	0,98 ns	0,004	0,54 ns
Época*Tratamiento*Profundidad	12	33.353	0,44 ns	0,002	0,87 ns	---	---
Media		60,37		0,87		1,39	
CV		10,72		6,92		4,70	
R-cuadrado		0,71		0,54		0,75	

GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado de la media; Pr>F: valor p; niveles de probabilidad: no significativo (ns), significativo al 0,05 (*), al 0,01 (**), al 0,001 (***).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo en estudio presentó un pH entre 5,3 y 5,6, con altos contenidos de materia orgánica (Tabla 1), como consecuencia del tipo de suelo, condiciones de clima y temperatura que favorecen su acumulación, es así, como de las prácticas agroecológicas realizadas por el agricultor. El Ca, Mg, Cu y B, se encontraron cantidades adecuadas y el K presentó pocas limitaciones (Ortega y Corvalán, 2001), especialmente para el maíz variedad ICA V 305, el cual requiere cantidades cercanas a 100 kg de K₂O/ha (Semicol, 2012). Por el contrario, se encontraron muy bajos contenidos de P y Fe y altos de Zn y Mn. Este último elemento, estaba en exceso, debido posiblemente al material parental.

Con respecto a las variables físicas del suelo reportadas en la Tabla 2, el análisis de varianza mostró que la humedad del suelo, densidad aparente y estabilidad de agregados eran similares entre tratamientos y significativamente diferentes entre épocas de muestreo.

El contenido de humedad del suelo osciló entre 48 y 68% (Figura 1) y difirió significativamente entre antes de la siembra de los AV y durante su crecimiento, resultados que se atribuyen al efecto las precipitaciones ocurridas en estas etapas. Al comparar la humedad entre profundidades, independiente de los tratamientos, se encontró mayor contenido en la profundidad de 0-5 cm (61,6%).

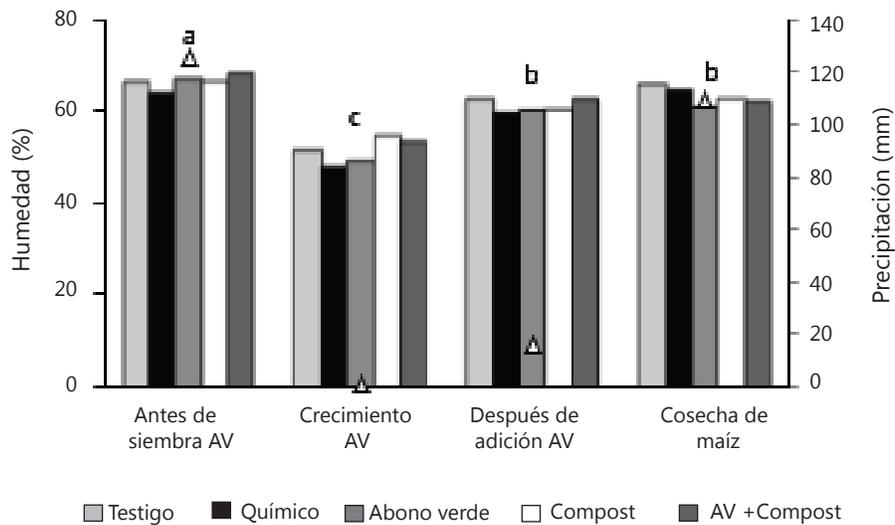


Figura 1. Precipitación y variación de la humedad del suelo sembrado con maíz, en las épocas de muestreo de la mesofauna. Finca “Las Flores”, Palmira (Colombia). Letras diferentes indican diferencias entre épocas de muestreo, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Los promedios más bajos en densidad aparente (Figura 2A) se encontraron después de la adición de los AV (entre 0,82 y 0,84 g/cm^3). Estos resultados sugieren, que fueron las actividades de siembra del maíz y el efecto del crecimiento de las plantas a través de sus raíces, los que tuvieron influencia a corto plazo en esta característica del suelo. En el primer caso, hubo necesidad de aflojar el suelo con palín sobre el surco de siembra para facilitar la germinación de las semillas de maíz, lo que causó la reducción temporal de la densidad aparente.

La estabilidad de agregados presentó valores entre 0,2 y 0,8 (Figura 2B). Es probable que el alto contenido de materia orgánica que se presenta en este suelo enmascare el efecto de los tratamientos establecidos. Las etapas antes de siembra de los AV y después de la adición de AV presentaron mayor índice de estabilidad de los agregados comparado con los valores obtenidos en la etapa correspondiente a la cosecha de maíz. En esta fase, los agregados mayores a 2 mm superaron el 70%, razón por la cual, el índice descendió notoriamente.

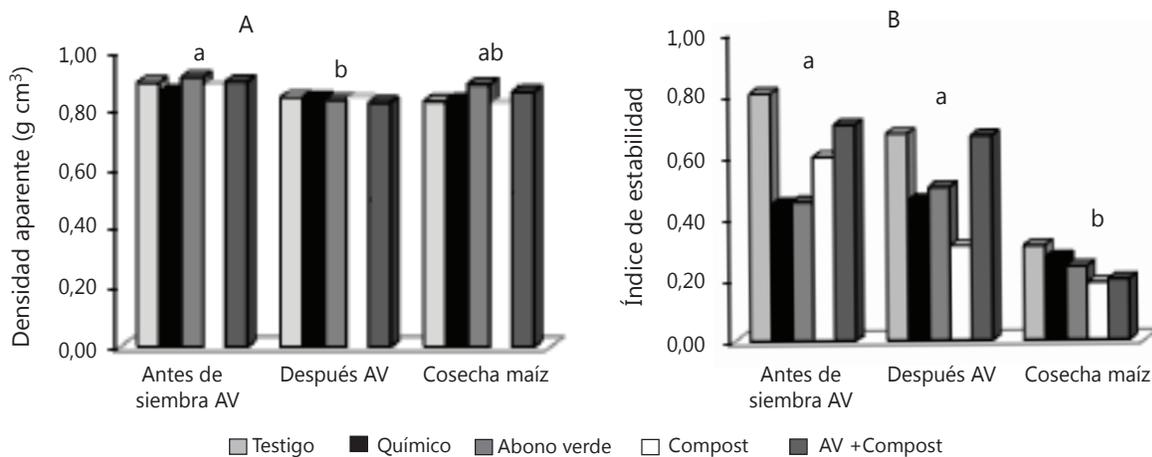


Figura 2. Densidad aparente (A) e índice de estabilidad de agregados (B) del suelo sembrado con maíz y sometido a diferentes prácticas de manejo. Finca “Las Flores”, Palmira (Colombia). Letras diferentes indican la diferencia entre épocas de muestreo, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Estimación de la riqueza de mesofauna encontrada. Los ácaros y colémbolos conforman la mayoría de la población de mesofauna del suelo. En este experimento, los ácaros fueron el grupo dominante. Según Axelsen y Kristensen (2000); Eaton (2006); Kardol *et al.* (2011); Wang *et al.* (2011); Peredo *et al.* (2012).

Tabla 3. Mesofauna colectada en un suelo sembrado con maíz y sometido a diferentes prácticas de manejo agroecológico. Finca "Las Flores", Palmira (Colombia).

Grupos	Individuos colectados	Grupos	Individuos colectados
ACARI		COLLEMBOLA	
Oribátida		Etmobryomorpha	
Scheloribatidae	1.458	Entomobryidae	2.718
Galumnidae	416	Isotomidae	2.692
Trhypochthoniidae	352	Paronellidae	88
Nothridae	327	Poduromorpha	
Tectocephidae	324	Brachystomellidae	55
Nanhermanniidae	289	Onychiuridae	55
Oppiidae	83	Neanuridae	43
Malaconothridae	78	Hypogastruridae	7
Phthiracaridae	16	Symphyleona	
Otocephidae	3	Dicyrtomidae	26
Teratoppiidae	1	No identificada	14
Mesostigmata		INSECTA	
Ologamasidae	535	Hymenoptera	
Laelapidae	364	Formicidae	1.570
Dinychidae	194	Hemiptera	
Parasitidae	142	Fulgoridae	2
Phytoseiidae	113	Aphididae	54
Uropodidae	82	Lygaeidae	9
Macrochelidae	68	Reduviidae	2
Trematuridae	51	Cicadidae	1
Polyaspididae	42	Coleoptera	
Trachyuropodidae	35	Chrysomelidae	9
Ascidae	9	Curculionidae	40
Parholaspididae	7	Phalacridae	3
Blattisociidae	4	Staphylinidae	64
Veigaiidae	4	Scarabaeidae	7
Podocinidae	2	Platypodidae	1
No identificada	1	Carabidae	6
Astigmata		Melolonthidae	2
Acáridae		OTROS	
Prostigmata		Lepidoptera	49
Eupodidae	436	Diptera	8
Bdellidae	54	Dermaptera	1
Scutacaridae	24	Thysanoptera	4
Tydeidae	20	Psocoptera	453
Cheyletidae	7	Diplura	70
Neothrombiidae	5	Blattaria	5
Stigmaeidae	4	Diplopoda	31
Microtrombidiidae	4	Geophilomorpha	6
Erythraeidae	3	Scolopendromorpha	85
Tarsonemidae	3	Symphyla	28
Trombidiidae	2	Araneae	47
No identificada	3	Pseudoescorpionida	2
		Isopoda	26

y con mayor diversidad (Tabla 3), se identificaron 40 familias distribuidas de manera similar en los tratamientos seguido de los colémbolos, los cuales, presentaron un promedio de 14 familias, también distribuidos homogéneamente. En orden descendente, le siguen coleópteros, hemípteros e himenópteros con 8, 5 y 2 familias respectivamente, y un grupo diverso de otros mesoinvertebrados, donde se incluye, algunos órdenes de insectos, miriápodos y arácnidos. Algunas familias, sólo se encontraron en parcelas con manejo de AV y compost: ácaros Podocinidae, coleópteros Phalacridae y Melolonthidae, hemípteros Cicadidae, dermápteros, thysanópteros, y varios géneros de hormigas como: *Strumigenys* sp., *Acropyga* sp. y *Tatuidris* sp. La presencia del género *Strumigenys* sp. en suelos

poco alterados y con manejo agroecológico coincide con datos registrados por Marín y Sánchez (2003).

En el sitio donde se hizo la experimentación, se han venido realizando prácticas agroecológicas por más de 6 años, las cuales, han permitido a través del tiempo, incrementar los niveles de materia orgánica del suelo por encima de 5%. De allí, que la diversidad de la mesofauna no presente mayor variación entre tratamientos, aún después de efectuar las labores agrícolas propias del cultivo de maíz.

Abundancia de mesofauna. El análisis de varianza para esta variable mostró diferencias significativas

Tabla 4. Análisis de varianza de la población total de mesofauna y poblaciones de ácaros y colémbolos, encontrados en un suelo sembrado con maíz y sometido a diferentes prácticas de manejo agroecológico. Finca "Las Flores" Palmira (Colombia).

Fuente de variación	GL	Población total		Ácaros		Colémbolos	
		CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F
Profundidad	2	0,802	0,00***	0,422	0,00***	1,331	0,00**
Tratamiento	4	0,023	0,20 ns	0,009	0,39 ns	0,034	0,41 ns
Tratamiento*Profundidad	8	0,012	0,55 ns	0,004	0,82 ns	0,024	0,67 ns
Época	3	0,044	0,04*	0,031	0,02*	0,159	0,00***
Época*Profundidad	6	0,047	0,01**	0,032	0,00**	0,093	0,00***
Época*Tratamiento	12	0,023	0,14 ns	0,011	0,24 ns	0,041	0,05 ns
Época*Tratamiento*Profundidad	24	0,021	0,16 ns	0,011	0,23 ns	0,029	0,18 ns
Media		0,87		1,33		1,32	
CV		13,34		7,38		8,14	
R-cuadrado		0,66		0,60		0,79	

GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado de la media; Pr>F: valor p; niveles de probabilidad: no significativo (ns), significativo al 0,05 (*), al 0,01 (**), al 0,001 (***) respectivamente.

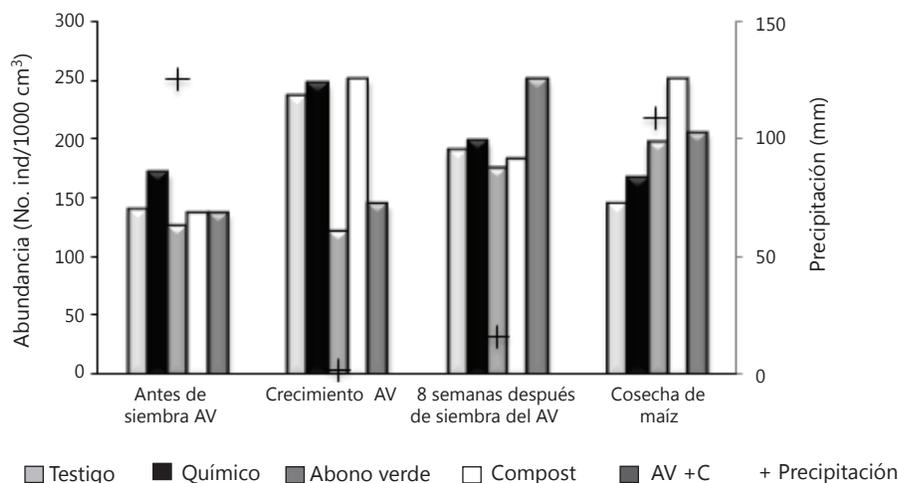


Figura 3. Abundancia de mesofauna en un suelo sembrado con maíz y sometido a diferentes prácticas de manejo agroecológico. La gráfica también relaciona la precipitación media en cada época de muestreo. Finca "Las Flores", Palmira (Colombia).

($P \leq 0,05$) entre épocas evaluadas (Tabla 4) y entre tratamientos en algunas épocas (Figura 3). La dominancia de los mesoinvertebrados también varió según la época y tratamiento (Figura 4).

Antes del establecimiento de los AV, las poblaciones de mesofauna presentaron los valores más bajos, mostrando diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con las demás épocas evaluadas (Figura 3), debido a la alta humedad del suelo (superior al 63%), producto de la precipitación ocurrida en la semana anterior al muestreo (126 mm), que creó un ambiente desfavorable para la mesofauna edáfica, especialmente ácaros y colémbolos. Este detrimento en la abundancia de microartrópodos frente a situaciones de estrés por exceso de humedad, ha sido registrado por investigadores como Larink (1997) y Kautz *et al.* (2006). En colémbolos, también Flores *et al.* (2011) encontraron que la precipitación fue la variable ambiental que influyó significativamente

en la abundancia de los colémbolos, indicando que la humedad es un factor limitante para el crecimiento de la mayoría de las especies de este grupo biológico.

En esta fase sin aún establecer los AV, las poblaciones de mesofauna fueron similares en todos los tratamientos, oscilando entre 126 y 172 ind/1000 cm³ (Figura 3). Los ácaros predominaron en las parcelas donde posteriormente se sembraron y adicionaron los AV. En este grupo, los más representativos fueron los Oribátidos Scheloribatidae y Galumnidae y los Mesostigmata Dinichidae, Laelapidae y Ologamasidae. Cabe resaltar, que las altas densidades de los ácaros oribátidos, es un patrón que se repite en todas las épocas de muestreo. Estos resultados coinciden con información registrada por Karyanto *et al.* (2011), quienes afirman, que los oribátidos son numéricamente dominantes en los horizontes orgánicos de la mayoría de los suelos.

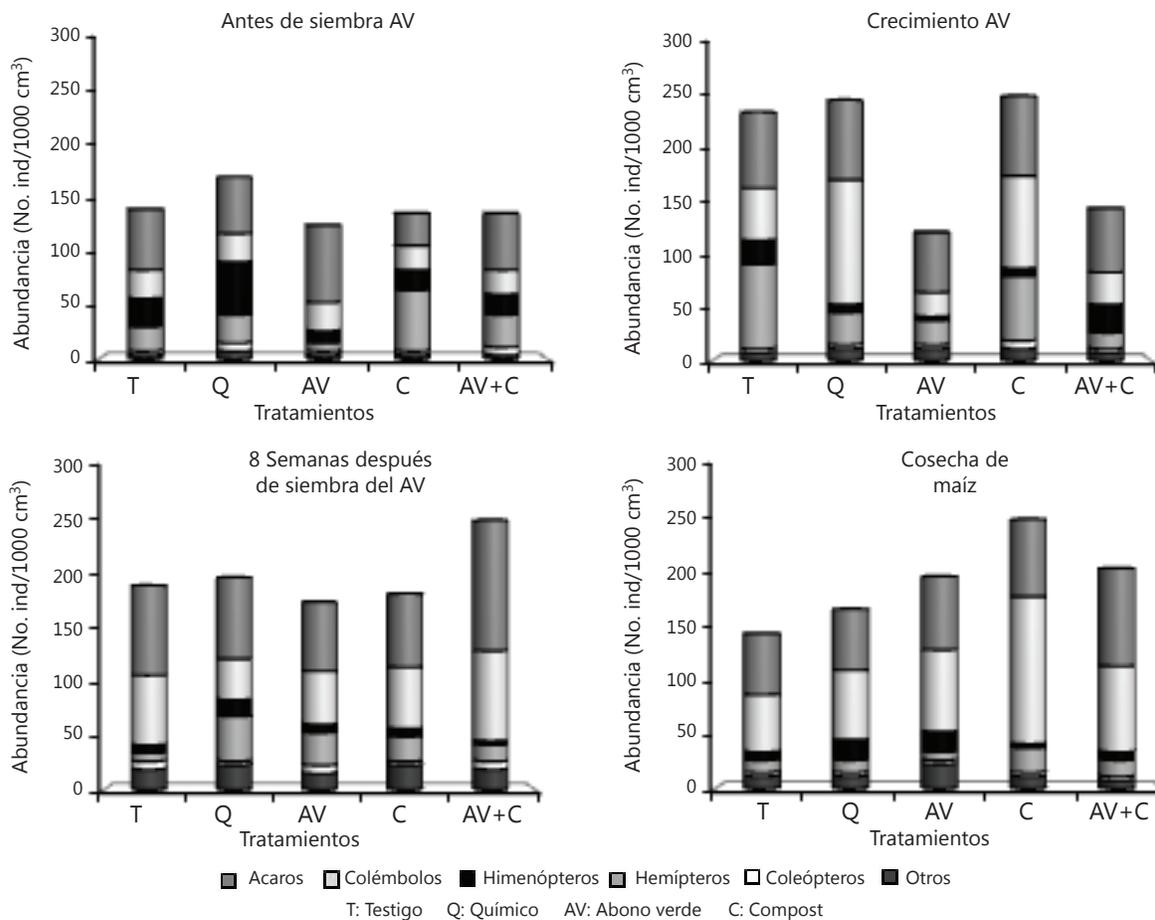


Figura 4. Abundancia de mesofauna según la época de muestreo, en un suelo sembrado con maíz y sometido a diferentes prácticas de manejo agroecológico. Finca "Las Flores", Palmira (Colombia).

Los colémbolos por su parte, presentaron poblaciones similares en todas las parcelas (Figura 4), destacándose la familia Entomobryidae en todos los sistemas de manejo y la familia Isotomidae en parcelas que fueron inicialmente tratadas con AV. Los himenópteros se encontraron en mayor número en parcelas donde se estableció con anterioridad el tratamiento químico (50 ind/1000 cm³), siendo en esta fase donde se encontró la mayor población de este grupo (Figura 4), mostrando diferencias significativas ($P \leq 0,05$) respecto a las demás épocas de muestreo.

Durante la fase de crecimiento de los AV (Figura 3), las parcelas que los contenían (AV y AV+C) se caracterizaron por presentar bajas poblaciones de mesofauna (122 y 145 ind/1000 cm³ respectivamente), mostrando diferencias significativas ($P \leq 0,05$) al compararlas con las parcelas donde predominaban las arvenses.

Esta respuesta de la mesofauna se relacionó con la disminución en la entrada de luz, en la medida que el AV cerraba, dominaba el espacio e impedía el crecimiento de arvenses (Médiène *et al.*, 2011) como alternativa alimentaria para ellos. Por el contrario, en el testigo y parcelas destinadas a otros tratamientos, se presentó un aumento considerable de las poblaciones de mesofauna (237, 248 y 252 ind/vol de suelo en TA, Q y C respectivamente), con participación importante de ácaros, colémbolos y hemípteros (Figura 4). En este periodo en dichas parcelas, no se realizaron actividades agrícolas que ocasionaran alguna perturbación al suelo. Además, se presentaban diversas especies vegetales consideradas arvenses, que se convirtieron en refugio temporal al concentrarse variedad de alimento para los habitantes del suelo y mantillo. Nakamoto y Tsukamoto (2006) y Reeleder *et al.* (2006), encontraron que las poblaciones de ácaros y colémbolos se incrementaron con el uso de cobertura viva destinada a AV, compuesta por trébol blanco (*Trifolium repens*) y raigrass italiano (*Lolium multiflorum*), lo cual señala las diferencias introducidas por las especies vegetales que se involucren al sistema.

Después de la adición de los AV, aunque no hubo diferencias significativas entre tratamientos, ocurrió recuperación de las poblaciones y fue marcada en las parcelas donde se empleó la mezcla de AV+C (Figura 3). Nuevamente los ácaros y colémbolos predominaron (Figura 4) y dentro de ellos, los oribátidos, especialmente de la familia Scheloribatidae y en

colémbolos las familias Entomobryidae e Isotomidae. Similares resultados fueron obtenidos por Axelsen y Kristensen (2000); Socarrás y Rodríguez (2001) y Kautz *et al.* (2006), quienes hallaron mayor densidad de colémbolos y ácaros en parcelas manejadas con diferentes tipos de abonos orgánicos, atribuyendo este aumento a la entrada de materia orgánica al suelo, mejores condiciones físicas y suministro de alimento.

Por el contrario, en parcelas manejadas con fertilización química disminuyó drásticamente la densidad de colémbolos (de 118 pasó a 38 ind./vol de muestra). Es probable, que la ausencia de cobertura vegetal que ocurrió en los días cercanos a la siembra del maíz, condujera a la muerte y/o migración de especímenes a las parcelas donde se presentaba una mayor protección y oferta de alimento. Se considera, que el suelo bajo este manejo no ofreció condiciones favorables para la colonización de muchos hongos (Vergara, 2013) y bacterias, afectando aquellos colémbolos que basan su alimentación en estos microorganismos (Eaton, 2006). Además, según González *et al.* (2003), los colémbolos son más vulnerables a la insolación que otros habitantes del suelo, debido a la poca esclerotización de su cuerpo.

A diferencia de la alta sensibilidad de los colémbolos, los ácaros no presentaron mayores variaciones en su densidad en las parcelas manejadas con compost, fertilización química y testigo (Figura 4). Los ácaros Mesostigmata disminuyeron levemente su población, los oribátidos la incrementaron y los Prostigmata y Astigmata conservaron el mismo número de individuos. Hay registros de mayor tolerancia de los ácaros a cambios edáficos motivados por prácticas de manejo del suelo (Axelsen y Kristensen, 2000; González *et al.*, 2003; Nakamoto y Tsukamoto, 2006; Bedano *et al.*, 2006; Reeleder *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2011).

En la etapa de cosecha del maíz, el tratamiento con compost presentó las mayores poblaciones 252 ind/1.000 cm³ (Figura 3), mostrando diferencias significativas ($P \leq 0,05$) respecto al testigo y el tratamiento con fertilización química, los cuales, presentaron 145 y 168 individuos/vol de muestra, respectivamente. Este aumento en la densidad, estuvo relacionada con incrementos en la población de colémbolos (Figura 4), especialmente de las familias Entomobryidae e Isotomidae. En compost, los ácaros se situaron en segundo lugar al presentar 73 ind/vol de muestra, con predominio de Oribátidos y

Astigmatas. Este incremento de colémbolos y ácaros oribátida en suelos con incorporación de enmiendas orgánicas coincide con datos registrados por Socarrás y Rodríguez (2001).

Las parcelas manejadas con AV y AV+C también presentaron altas poblaciones de mesoinvertebrados con predominio de ácaros y colémbolos (Figura 4). Con el AV individual dominaron los oribátida (familias Schelorbátidae y Nanhermanidae), y Mesostigmata (familias Ologamasidae y Parasitidae). En AV+C sobresalieron las mismas familias mencionadas de los oribátida y los Astigmata Acaridae. En los colémbolos, continuó el predominio de las familias Entomobryidae e Isotomidae.

Los resultados obtenidos en esta investigación señalan que la incorporación de AV estimuló el crecimiento de las poblaciones de fauna del suelo, pero su efecto es a corto plazo, mientras que la incorporación del compost, tiene un efecto más prolongado, debido a que son materiales orgánicos ya descompuestos, a los cuales se adicionaron fuentes inorgánicas para enriquecerlo con algunos nutrientes como P (información personal productora Elizabeth Martínez, 2011). Hay coincidencia con registros de Kautz *et al.* (2006); Nakamoto y Tsukamoto (2006) y Mazzoncini *et al.* (2010), quienes encontraron que la abundancia de los microartrópodos en sistemas con manejo orgánico, estuvo condicionada por el suministro inmediato de alimentos y alivio de los microclimas hostiles.

Distribución vertical de la mesofauna. El análisis de varianza estableció diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la distribución vertical de la mesofauna en épocas de muestreo pero no entre tratamientos. En general, la mayor población se encontró habitando entre 0-5 cm de profundidad, seguido de la ubicada de 5-10 cm de profundidad y mantillo, mostrando diferencias altamente significativas ($P \leq 0,05$) entre estratos. La mayor abundancia entre 0-5 cm, se explica como efecto de la materia orgánica y las condiciones físicas que confiere al suelo (Socarrás y Rodríguez, 2001). La población del mantillo fue variable y altamente influenciada por las condiciones de humedad del suelo y cobertura. Hay diferencias entre familias, algunas aparentemente prefieren los primeros centímetros, otras de 5-10 cm y algunas se encuentran en todo el estrato analizado.

Correlación entre las poblaciones de mesofauna y las características físico-químicas del suelo. El estudio de correlaciones entre propiedades físico-químicas y las variables de mesofauna señaló que la alta humedad del suelo de la época anterior al establecimiento de los AV, afectó negativamente las poblaciones totales de mesofauna encontradas (Tabla 5). Resultados similares fueron expuestos por Flores *et al.* (2011). Aparentemente los ácaros como población no fue afectada por los factores edáficos analizados, lo cual corroboró su mayor adaptación a cambios (Kardol *et al.*, 2011). Sin embargo, cuando se individualizaron las familias, algunas fueron sensibles a factores específicos como la humedad.

Tabla 5. Análisis de correlación (Pearson) para la mesofauna edáfica y variables físicas y químicas en las diferentes épocas de muestreo, en un suelo sembrado con maíz y sometido a diferentes prácticas de manejo agroecológico. Finca "Las Flores", Palmira (Colombia).

Grupos de mesofauna	Variable	Antes siembra de AV	Después de adición AV	Cosecha maíz
Colémbolos	Ca	-0,94319*		
	Humedad		0,92146*	
Coleópteros	Estabilidad de agregados		0,98507**	
	S			0,96700**
Himenópteros	Cu			0,90269 *
	Humedad	0,93721*		
Población mesofauna	Ca			0,90345*
	Humedad	-0,91984*		
	Estabilidad de agregados			-0,91231*

Niveles de significancia: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$.

Durante el crecimiento de AV, los colémbolos correlacionaron positivamente con baja humedad del suelo y en la cosecha de maíz, hubo relación positiva de hormigas con los elementos S y Cu, de mesofauna con contenidos de Ca y negativa con estabilidad de agregados.

En colémbolos, varios estudios coinciden en señalar la sensibilidad de esta población a la humedad del suelo (Marín y Sánchez, 2003; Barbercheck *et al.*, 2009; Kardol *et al.*, 2011; Flores *et al.*, 2011). Según Arbea y Blasco (2001), la humedad y la temperatura son factores determinantes del hábitat óptimo de los colémbolos, ya que influyen en la tasa de reproducción y crecimiento de los individuos, y en su distribución vertical a lo largo de un perfil.

CONCLUSIONES

La mesofauna, con énfasis en ácaros y colémbolos, varió en abundancia y distribución entre épocas de muestreo. La mayor presencia de mesoinvertebrados se encontró de 0-5 cm de profundidad con predominancia de ácaros.

La humedad del suelo, densidad aparente y estabilidad de agregados, fueron sensibles a los cambios ocurridos en las diferentes etapas fenológicas de los AV y del maíz.

La humedad, la estabilidad de agregados y los contenidos de nutrientes como Ca, S y Cu fueron factores que influyeron en la dinámica de las poblaciones de ácaros y colémbolos.

La densidad aparente y la estabilidad de agregados del suelo, fueron indicadores del cambio derivado de fuentes orgánicas. La abundancia y presencia de algunos grupos específicos de ácaros Oribátida y colémbolos Entomobryidae e Isotomidae, marcaron diferencias con el manejo agroecológico a través del tiempo.

Los ácaros y colémbolos mostraron sensibilidad a los cambios que ocurrieron en el sistema, debido a modificaciones en sus fuentes de alimento, humedad y condiciones físico-químicas del hábitat.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, al Grupo de Investigación en Agroecología,

a los agricultores Adolfo Carvajal y Gladys Pomeo, a la profesora Nora Cristina Mesa, al Laboratorio de Acarología y Laboratorio de Microbiología Vegetal y Animal de la Universidad Nacional, a los Ingenieros Agrónomos Claudia Marcela Ospina y Francisco Sánchez.

BIBLIOGRAFÍA

Arbea, J. y J. Blasco. 2001. Ecología de los colémbolos (hexápoda, Colémbola) en los Monegros (Zaragoza, España). En: Aracnet 7 -Bol. SEA. 28: 35-48. En: <http://entomologia.rediris.es/aracnet/7/03ecolembolos/>; consulta: octubre 2012.

Axelsen, J. and K. Kristensen. 2000. Collembola and mites in plots fertilised with different types of green manure. *Pedobiología* 44(5): 556-566.

Barbercheck, M., D. Neher, O. Anas, S. El-Allaf and T. Weicht. 2009. Response of soil invertebrates to disturbance across three resource regions in North Carolina. *Environmental Monitoring and Assessment* 152(1-4): 283-298.

Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64(2): 269-285.

Bedano, J., M. Cantú and M. Doucet. 2006. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology* 32(3): 293-304.

Bedano, J., A. Domínguez and R. Arolfo. 2011. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. *Soil and Tillage Research* 117: 55-60.

Eaton, R. 2006. Collembola population levels 7 years after installation of the North Carolina Long Term Soil Productivity Study. *Pedobiología* 50(4): 301-306.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2012. Agricultura de conservación. En: <http://www.fao.org/ag/ca/es/1a.html>; consulta: septiembre 2012.

Flores, L., J. Palacios, G. Castaño y L. Cutz. 2011. Colémbolos de suelos agrícolas en cultivos de alfalfa y de maíz adicionados con biosólidos en Aguascalientes, México. *Agrociencia* 45(3): 353-362.

Gómez, F. 1999. Procesos erosivos: Estrategia para su caracterización e implementación de sus prácticas

- básicas de control y prevención. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales y Ecología. Medellín. 70 p.
- González, A. 1979. Propiedades físicas del suelo: notas de laboratorio. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 36 p.
- González, V., M. Díaz y D. Prieto. 2003. Influencia de la cobertura vegetal sobre las comunidades de la mesofauna edáfica en parcelas experimentales de caña de azúcar. *Revista Biología* 17(1):18-25.
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 613 p.
- Kardol P., N. Reynolds, R. Norby and A. Classen. 2011. Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. *Applied Soil Ecology* 47(1): 37–44.
- Karyanto, A., C. Rahmadi, E. Franklin, F. Susilo y J. Wellington de Morais. 2011. Capítulo 4: Collembola, acari y otra mesofauna del suelo: el método Berlese. pp. 149-162. En: Fátima M. S. Moreira, E.J. Huisling y D.E. Bignell (eds.). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo el suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México. 350 p.
- Kautz, T., C. López and F. Ellmer. 2006. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in central Spain. *Applied Soil Ecology* 33(3): 278–285.
- Koehler, H. and V. Melecis. 2010. Chapter 15. Long-term observations of soil mesofauna. pp. 203-220. In: Müller, F., C. Baessler, H. Schubert and S. Klotz (eds.). *Long-Term Ecological Research*. Springer, New York. 456 p.
- Larink, O. 1997. Capítulo 7: Springtail and Mites: Import knots in the food web of soil. pp. 225-264. En: Benkiser, G. (eds.). *Fauna in soil ecosystem. Recycling processes, nutrient fluxes and agriculture production*. Marcel Dekker, Inc., New York. 414 p.
- Marín, E. y M. Sánchez de P. 2003. Caracterización de la meso y macrofauna en suelos cultivados con maracuyá – *Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*- bajo diferentes sistemas de manejo en el norte del Valle del Cauca. Informe final. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira – Colciencias, Palmira. 101 p.
- Mazzoncini, M., S. Canali, M. Giovannetti, M. Castagnoli, F. Tittarelli, D. Antichi, R. Nannelli, C. Cristani and P. Bàrberi. 2010. Comparison of organic and conventional stockless arable systems: A multidisciplinary approach to soil quality evaluation. *Applied Soil Ecology* 44(2): 124–132.
- Médiène, S., M. Morison, J. Sarthou, S. De Tourdonnet, M. Gosme, M. Bertrand, J. Estrade, J. Aubertot, A. Rusch, N. Motisi, C. Pelosi and T. Doré. 2011. Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 31(3): 491–514.
- Nakamoto, T. and M. Tsukamoto. 2006. Abundance and activity of soil organisms in fields of maize grown with a white clover living mulch. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115(1-4): 34–42.
- Navarro, C., A. Pekas, M. Moraza, A. Aguilar and F. García. 2012. Soil-dwelling predatory mites in citrus: Their potential as natural enemies of thrips with special reference to *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera: Thripidae). *Biological Control* 63(2): 201–209.
- Ortega, A. y E. Corvalán. 2001. Diagnóstico de suelos. En: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. EEA Salta, <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/?id=615>; consulta: septiembre 2012.
- Peredo, S., C. Barrera, E. Parada and M. Vega. 2012. Taxocenotic and biocenotic analysis over time of edaphic mesofauna in organic *Vaccinium* sp. plantations southern central Chile. *Agrociencia* 46(2): 163-173.
- Pochon, J., P. Tardieux and J. D' Aguilar. 1969. Methodological problems in soil biology. *Soil Biology. Reviews of research*. Unesco 9:13-63.
- Reeleder, R., J. Miller, B. Ball Coelho and R. Roy. 2006. Impacts of tillage, cover crop, and nitrogen on populations of earthworms, microarthropods, and soil fungi in a cultivated fragile soil. *Applied Soil Ecology* 33(3): 243–257.
- Semicol. 2012. Ficha Técnica del Maíz (*Zea mays* L.) ICA -V -305 "Maíz amarillo" Variedad Certificada. En:http://www.semicol.co/semillas/agricolas/maiz-icav-%E2%80%93305/flypage_new.tpl.html; consulta: octubre 2012.

Socarrás, A. y M. Rodríguez. 2001. Efecto de la agricultura orgánica sobre la mesofauna del suelo. *Poeyana* 485: 5-7.

Vergara, F. 2013. Efecto de abonos verdes sobre la dinámica de hongos micorrizógenos (HMA) y bacterias nitrificantes en un ciclo de cultivo de maíz, *Zea mays* L. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Línea de

Investigación Suelos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 135 p.

Wang, K., C. Hooks and S. Marahatta. 2011. Can using a strip-tilled cover cropping system followed by surface mulch practice enhance organisms higher up in the soil food web hierarchy?. *Applied Soil Ecology* 49: 107–117.