

COLÉMBOLOS DE SUELOS AGRÍCOLAS EN CULTIVOS DE ALFALFA Y DE MAÍZ ADICIONADOS CON BIOSÓLIDOS EN AGUASCALIENTES, MÉXICO

COLLEMBOLANS FROM AGRICULTURAL SOILS WITH ALFALFA AND CORN CROPS AMENDED WITH BIOSOLIDS IN AGUASCALIENTES, MÉXICO

Lizbeth Flores-Pardavé¹, José G. Palacios-Vargas², Gabriela Castaño-Meneses², Leopoldo G. Q. Cutz-Pool²

¹Departamento de Biología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Avenida Universidad. 940 20100 Aguascalientes, Aguascalientes, México. (lfloresp@correo.uaa.mx). ²Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 México, D.F.

RESUMEN

Gran parte de los estudios sobre los biosólidos se refieren a los efectos positivos de su aplicación en cultivos, pero hay poca información sobre la evaluación de su efecto en el componente biológico del subsistema edáfico. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar su acción sobre los colémbolos en cultivos de alfalfa y maíz en el estado de Aguascalientes. Mediante trampas pitfall usadas en 2004 y 2005 se recolectaron ocho especies, de las que *Ballistura schoetti*, *Entomobrya* ca. *triangularis* y *Seira purpurea* fueron las más abundantes. La adición de materia orgánica presente en los biosólidos propició un gran desarrollo poblacional de *B. schoetti* en ambos cultivos. La precipitación fue la variable ambiental mejor relacionada con la abundancia de colémbolos, la diversidad de especies fue baja en todas las condiciones experimentales, y la composición de especies fue menor en el cultivo de maíz.

Palabras clave: *Ballistura schoetti*, *Medicago sativa*, *Zea mays*, fauna edáfica, materia orgánica, microartrópodos.

INTRODUCCIÓN

Los microartrópodos del suelo, entre los que destacan los colémbolos y los ácaros, son un grupo esencial en este sustrato por su abundancia e importancia ecológica, porque intervienen en la regulación de poblaciones fúngicas y bacterianas, así como en el reciclamiento de minerales ya que participan de manera importante en los procesos de descomposición de la materia orgánica, fragmentan residuos vegetales, producen heces fecales esféricas,

ABSTRACT

Many of the studies on biosolids refer to the positive effects of their application in crops, but there is little information on the evaluation of their effect on the biological component of the edaphic subsystem. Therefore, the objective of the present study was to evaluate their action on the collembolans in alfalfa and corn crops in the state of Aguascalientes. With pitfall traps used in 2004 and 2005, eight species were collected, of which *Ballistura schoetti*, *Entomobrya* ca. *triangularis* and *Seira purpurea* were the most abundant. The addition of organic matter present in the biosolids propitiated a great population development of *B. schoetti* in both crops. Precipitation was the environmental variable best related with the abundance of collembolans, species diversity was low in all of the experimental conditions, and the species composition was lower in the corn crop.

Key words: *Ballistura schoetti*, *Medicago sativa*, *Zea mays*, edaphic fauna, organic matter, microarthropods.

INTRODUCTION

Soil microarthropods, among which collembolans and mites are outstanding, are an essential group in this substrate due to their abundance and ecological importance, because they intervene in the regulation of fungal and bacterial populations, as well as in the recycling of minerals, given that they participate to an important degree in the decomposition processes of organic matter, fragment plant residues, produce spherical feces, create biospores, promote humification and are components of numerous trophic chains. They are panphytophagous and predominantly fungivorous.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Junio, 2009. Aprobado: Marzo, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 353-362. 2011.

crean bioporos, promueven la humificación y son componentes de numerosas cadenas tróficas. Son panfitófagos y predominantemente fungívoros, también se alimentan de algas y detritus y algunos son depredadores (Bilde *et al.* 2000; Castaño-Meneses *et al.* 2000; Lenoir *et al.* 2007).

Los biosólidos son un subproducto del tratamiento de las aguas residuales que contienen una gran cantidad de materia orgánica y minerales, y también elementos tóxicos como metales pesados y otros xenobióticos que en concentraciones altas pueden limitar su uso. Los biosólidos se usan como fertilizantes y restauradores de suelos degradados en muchos países (Girovich, 1996; Chambers *et al.*, 2003).

Andrés (1999) señala un empobrecimiento de las poblaciones de microartrópodos al utilizar una dosis de 15 % de lodos residuales. Solamente en algunas especies hay efectos negativos, la intensidad del efecto está fuertemente correlacionada con la dosis y los oribátidos *Scheloribates laevigatus*, *Epilohmannia c. cylindrica* y el colémbolo *Isotomina thermophila* pueden servir como bioindicadores para evaluar el efecto de la aplicación de los lodos en el hábitat terrestre (Al-Assiuty *et al.* 2000).

En México hay pocos estudios sobre la composición específica de las comunidades de los colémbolos así como de su fisiología y ecología en suelos agrícolas, lo cual fue investigado por Cutz-Pool *et al.* (2007) en el estado de Hidalgo. Además es escasa la información acerca del efecto de los biosólidos sobre la fauna edáfica. Por tanto, el presente estudio se efectuó en suelos agrícolas de Aguascalientes, México, con el objetivo de conocer la composición específica, la función y la ecología de los colémbolos edáficos en alfalfa (*Medicago sativa* L.) y maíz (*Zea mays*), con y sin adición de biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Aguascalientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el Rancho San José, a 9 km al sur de la ciudad de Aguascalientes, 21° 48' 21" N, 102° 16' 07" O, a una altitud de 1883 m; clima tipo semiárido semicálido (BS₁hw) con lluvias en verano (García, 1988), la temperatura promedio anual es 18.2 °C y la precipitación promedio anual es 527 mm. Durante el período de estudio (2004-2005) la temperatura promedio anual fue 18 °C en 2004 y 19 °C en 2005, mientras que la precipitación total anual en 2004 fue 839 mm y 360 mm en 2005; la mayor precipitación ocurrió en junio en

They also feed on algae and detritus, and some are predators (Bilde *et al.*, 2000; Castaño-Meneses *et al.*, 2000; Lenoir *et al.*, 2007).

Biosolids are a byproduct of the treatment of sewage waters which contain a great amount of organic matter and minerals, and also toxic elements such as heavy metals and other xenobiotics, which in high concentrations can limit their use. Biosolids are used as fertilizers and to restore degraded soils in many countries (Girovich, 1996; Chambers *et al.*, 2003).

Andrés (1999) indicates an impoverishment of the microarthropod populations when a dose of 15 % of residual sludge was used. There are negative effects only in some species, the intensity of the effect is strongly correlated to the dose and the oribatids *Scheloribates laevigatus*, *Epilohmannia c. cylindrical* and the collembolan *Isotomina thermophila* can serve as bio-indicators to evaluate the effect of the application of the sludges in the terrestrial habitat (Al-Assiuty *et al.*, 2000).

In México there are few studies on the specific composition of the collembolan communities, as well as their physiology and ecology in agricultural soils, which was investigated by Cutz-Pool *et al.* (2007) in the state of Hidalgo. Furthermore, there is little information of the effect of biosolids on soil fauna. Therefore, the present study was carried out in agricultural soils of Aguascalientes, México with the objective of knowing the specific composition, function and ecology of the edaphic collembolans in alfalfa (*Medicago sativa* L.) and corn (*Zea mays*), with and without the addition of biosolids of the sewage treatment plant of the city of Aguascalientes.

MATERIALS AND METHODS

The present study was carried out in Rancho San José, 9 km south of the city of Aguascalientes, 21° 4' 21" N, 102° 16' 07" W, at an altitude of 1883 m. The climate is semi-warm semi-arid (BS₁hw) with rains in summer (García, 1988, with average annual temperature of 18.2 °C and average annual rainfall of 527 mm. During the study period (2004-2005) the average annual temperature was 18 °C in 2004 and 19 °C in 2005, while the total annual rainfall in 2004 was 839 mm and 360 mm in 2005; the heaviest rainfall occurred in June in 2004 (293 mm) and August in 2005 (147 mm). The soil is eutric planosol, and the natural vegetation is desert shrubland and natural grassland.

2004 (293 mm) y agosto en 2005 (147 mm). El suelo es planosol eútrico, y la vegetación natural es matorral desértico y pastizal natural.

Estudios en campo

Se establecieron ocho parcelas experimentales de 3000 m², cuatro sembradas con alfalfa, dos adicionadas con biosólidos (200 t ha⁻¹ peso húmedo, correspondiendo a 40 t en peso seco) y dos sin ellos; y cuatro sembradas con maíz, dos con biosólidos y dos sin ellos. La separación entre las parcelas de cada cultivo fue 100 m. La siembra se efectuó 28 d después de la adición de biosólidos: para la alfalfa se adicionó sólo una vez en la segunda semana de enero de 2004, y para el maíz, antes de la siembra, en la segunda semana de junio de 2004 y en la segunda semana de junio de 2005.

No se usaron plaguicidas ni fertilizantes (sólo los biosólidos) durante el estudio y sólo para el maíz se retiraron mecánicamente los restos del cultivo del año anterior antes de la siembra del segundo año.

Análisis de suelo

Se tomaron 16 muestras de 1 kg de suelo conformadas por cinco submuestras de 200 g cada una, de los 5 cm de la parte superior del suelo: ocho en el cultivo de alfalfa (cuatro en suelo sin y cuatro con biosólidos) y ocho en el de maíz (cuatro sin y cuatro con biosólidos). Las muestras se secaron a la sombra y a temperatura ambiente (20-25 °C). Las muestras secas se cribaron con una malla (1 mm apertura) y se efectuó el análisis físico y químico, y el análisis de xenobióticos. Las técnicas usadas para los análisis de fertilidad y salinidad fueron las señaladas por la Norma Oficial NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Para determinar metales totales se pesaron 2.5 g de suelo seco y calcinado y se añadió 3.0 mL de ácido nítrico, 0.5 mL de ácido perclórico y 25 mL de agua desionizada (Anónimo, 1982). Las muestras fueron digeridas 15 min a 15 libras de presión, filtradas y analizadas con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer AA Analyst 100.

Fauna de suelo

En las ocho parcelas experimentales se efectuaron muestreos bimensuales de febrero a diciembre de 2004 y 2005, en el cultivo de alfalfa. En el maíz, por ser un cultivo de temporal, se realizaron tres muestreos cada año durante julio, agosto y septiembre.

Se establecieron nueve puntos de muestreo en cada parcela, separados 10 m entre sí, formando una retícula en la parte central. En cada punto se colocó durante una semana una trampa

Field studies

Eight experimental plots of 3000 m² were established, four sown with alfalfa, two added with biosolids (200 t ha⁻¹ wet weight, corresponding to 40 t in dry weight) and two without biosolid; and four sown with corn, two with biosolids and two without. The separation between plots of each crop was 100 m. The sowing was carried out 28 d after the addition of the biosolids: for the alfalfa it was added only once in the second week of January of 2004, and for corn, before sowing, in the second week of June of 2004 and in the second week of June of 2005.

Neither pesticides nor fertilizers were used (only the biosolids) during the study and only for the corn the remains of the crop of the previous year were mechanically removed before the sowing of the second year.

Soil analysis

Sixteen samples of 1 kg of soil were taken, comprised of five subsamples of 200 g each, of the 5 cm of the top portion of the soil: eight in the alfalfa crop (four in soil without and four with biosolids) and eight in the corn crop (four without and four with biosolids). The samples were dried under shade at atmospheric temperature (20-25 °C). The dry samples were sieved with a mesh (1 mm opening) and the physical and chemical analysis was made, along with the analysis of xenobiotics. The techniques used for the analyses of fertility and salinity were those indicated by the Norma Oficial NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). To determine total metals, 2.5 g of dry and calcined soil were weighed, and 3.0 mL of nitric acid was added, along with 0.5 mL of perchloric acid and 25 mL of de-ionized water (Anonymous, 1982). The samples were digested 15 min at 15 pounds of pressure, filtered and analyzed with an atomic absorption spectrophotometer (Perkin-Elmer AA Analyst 100).

Soil fauna

Bimonthly samplings were made in the eight experimental plots from February to December of 2004 and 2005, in the alfalfa crop. In the corn, because it is a rainfall crop, three samplings were made each year during July, August and September.

Nine sampling points were established in each plot, separated from each other by 10 m, forming a grid in the central portion. A pitfall trap was placed at each point during one week, with 8.5 cm diameter and 10.5 cm height, which contained 50 mL alcohol at 50 % (as fixer and preservative). At the end of the week the trapped fauna was collected for identification. The collected arthropods were placed in jars with alcohol at

pit-fall con 8.5 cm de diámetro y 10.5 cm de altura que contenía 50 mL de alcohol al 50 % (como fijador y conservador). Al final de la semana se recolectó la fauna atrapada para su identificación. Los artrópodos recolectados se colocaron en frascos con alcohol al 70 % y se llevaron al laboratorio (Bater, 1996). En el laboratorio los colémbolos fueron procesados y examinados con microscopio óptico y se identificaron usando las claves para identificación de colémbolos (Christiansen y Bellinger, 1981). Una vez identificados se realizó el conteo.

Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de t para conocer si existían diferencias en las características químicas de los suelos tratados y no tratados con biosólidos. Para evaluar el efecto de tipo de cultivo, fecha y tratamiento de biosólidos sobre la abundancia (número de ejemplares), la riqueza (número de especies) de colémbolos, la diversidad (índice de Shannon) y la dominancia de Simpson, se realizó un análisis múltiple de varianza. Asimismo, para conocer si existía relación entre abundancia de colémbolos y las diferentes variables climáticas se realizaron análisis de correlación con el software Minitab 15 (Minitab Inc., 2007).

Los índices de diversidad de Shannon (H'), la equitatividad de Shannon (J'), la dominancia de Simpson (D) y la similitud de Sørensen se calcularon utilizando el software incluido en Brower *et al.* (1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características del suelo de las parcelas experimentales se muestran en el Cuadro 1. Las adicionadas con biosólidos en ambos cultivos presentaron una cantidad mayor de materia orgánica durante el primer año, no así en el segundo. En el cultivo de alfalfa las concentraciones de fósforo intercambiable y de salinidad, evaluadas mediante la conductividad, fueron más altas que las del testigo durante los dos años [$t=3.43$ ($p=0.04$); $t=7.63$ ($p=0.002$)]. La salinidad fue significativamente mayor en el cultivo de alfalfa que en el de maíz [$t=3.71$ ($p=0.006$)]. El contenido de metales pesados fue bajo en todas las parcelas debido a que el contenido de metales de los biosólidos fue menor al de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (Flores y Flores, 2005).

La adición de biosólidos al suelo causó un aumento en el contenido de materia orgánica y de salinidad, lo que fue comprobado en los análisis después de su aplicación. Los biosólidos usados, al provenir

70 % and were taken to the laboratory (Bater, 1996). In the laboratory, the collembolan were processed and examined with the optical microscope and were identified using the codes for the identification of collembolan (Christiansen and Bellinger, 1981). Once identified, the count was made.

Statistical analysis

Student t tests were carried out to know if there were differences in the chemical characteristics of the soils treated and untreated with biosolids. To evaluate the effect of crop type, date and treatment of biosolids on the abundance (number of examples), the richness (number of species) of collembolans, diversity (Shannon index) and dominance of Simpson, a multiple analysis of variance was carried out. In addition, to know if there was a relationship between abundance of collembolan and the different climatic variables, the correlation analysis was carried out with the Minitab software (Minitab Inc., 2007).

The Shannon diversity indices (H'), the Shannon evenness (J'), Simpson dominance (D) and Sørensen similarity were calculated using the software included in Brower *et al.* (1997).

RESULTS AND DISCUSSION

The characteristics of the soil of the experimental plots are shown in Table 1. Those added with biosolids in both crops presented a larger amount of organic matter during the first year, but not in the second. In the alfalfa crop the concentrations of exchangeable phosphorus and salinity, evaluated by means of the conductivity, were higher than those in the control during both years [$t=3.43$ ($p=0.04$); $t=7.63$ ($p=0.002$)]. The salinity was significantly higher in the alfalfa than in the corn crop [$t=3.71$ ($p=0.006$)]. The content of heavy metals was low in all of the plots due to the fact that the metal content of the biosolids was lower than that of the Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (Flores and Flores, 2005).

The addition of biosolids to the soil caused an increase in the content of organic matter and salinity, which was proven in the analyses made after their application. The biosolids used, coming from domestic sewage water, had a low content of heavy metals, as was demonstrated in the soil analyses (Table 2). The values were lower in both orders of magnitude than those reported by Mendoza *et al.* (1996) in soils of the state of Hidalgo, irrigated with sewage water containing heavy metals, thus a

Cuadro 1. Características de los suelos de las parcelas sembradas con alfalfa en el Rancho San José, Aguascalientes, México.
Table 1. Characteristics of the soils of the plots sown with alfalfa in Rancho San José, Aguascalientes, México.

Tratamiento Variable/mes	Con biosólidos				Sin biosólidos			
	Ene 04	Oct 04	May 05	Dic 05	Ene 04	Oct 04	May 05	Dic 05
Materia orgánica (%)	7.13	5.36	3.40	4.30	3.50	3.60	3.50	4.0
N inorgánico (mg kg ⁻¹)	40.5	39.4	25.3	25.9	34.5	31.0	32.2	27.3
P intercambiable (mg kg ⁻¹)	132	115	100	73.0	66.0	61.3	62.0	57.2
Conductividad eléctrica (mS cm ⁻¹)	8.22	8.46	8.88	6.52	3.06	3.34	4.10	3.99
Cd (mg g ⁻¹)	0.3	0.4	1.5	1.3	0.4	0.6	1.2	1.5
Cr (mg g ⁻¹)	60.8	30.2	24.7	19.7	8.6	7.4	9.5	13.1
Cu (mg g ⁻¹)	7.1	7.5	7.7	4.4	3.9	4.1	4.8	4.1
Ni (mg g ⁻¹)	11.9	9.5	7.3	2.4	5.4	4.9	6.3	6.2
Pb (mg g ⁻¹)	3.9	4.3	6.0	5.2	14.3	18.3	11.5	5.8
Zn (mg g ⁻¹)	84.4	74.5	70.0	22.5	31.0	29.0	23.0	26.5

de aguas residuales domésticas, tuvieron un bajo contenido de metales pesados como se comprobó en los análisis del suelo (Cuadro 2). Los valores fueron menores en dos órdenes de magnitud a los reportados por Mendoza *et al.* (1996) en suelos del estado de Hidalgo, regados con aguas negras que contenían metales pesados; por tanto, no se observó un efecto negativo sobre los colémbolos atribuible a los metales pesados.

La abundancia de colémbolos en el cultivo de alfalfa adicionada con biosólidos estuvo conformada principalmente por *B. schoetti* (79 %) en el 2004, mientras que en el 2005 *E. triangularis* fue la especie que más contribuyó (71 %); sin biosólidos la contribución de las diferentes especies fue menos heterogénea (Cuadro 3). En el cultivo de maíz con adición

negative effect on the collembolans attributable to the heavy metals was not observed.

The abundance of collembolans in the alfalfa crop added with biosolids was comprised mainly of *B. schoetti* (79 %) in 2004, whereas in 2005 *E. triangularis* was the species that contributed most (71 %); without biosolids the contribution of the different species was less heterogeneous (Table 3). In the corn crop with addition of biosolids the same dominant species were observed as in the alfalfa crop, whereas without them *S. purpurea* in 2004 and *E. triangularis* in 2005 showed the highest abundance (Table 3). The specific richness was low: eight species in the alfalfa crop and seven in the corn crop, Cutz-Pool *et al.* (2007) found 19 and 29 species in two Mexican agrosystems sown with alfalfa and corn.

Cuadro 2. Características de los suelos de las parcelas sembradas con maíz en el Rancho San José, Aguascalientes, México.
Table 2. Characteristics of the soils of the plots sown with corn in Rancho San José, Aguascalientes, México.

Tratamiento Variable/mes	Con biosólidos				Sin biosólidos			
	Jun 04	Oct 04	May 05	Oct 05	Jun 04	Oct 04	May 05	Oct 05
Materia orgánica (%)	8.40	5.60	3.60	4.20	3.36	4.80	3.50	4.70
N inorgánico (mg kg ⁻¹)	65.8	11.8	8.7	9.7	34.7	9.7	18.8	6.5
P intercambiable (mg kg ⁻¹)	96.2	95.6	99.1	40.4	52.8	51.6	52.0	50.2
Conductividad eléctrica (mS cm ⁻¹)	3.94	3.80	1.72	2.01	1.84	1.87	1.88	1.75
Cd (μg g ⁻¹)	0.1	0.5	1.5	1.0	0.5	1.2	0.6	1.3
Cr (μg g ⁻¹)	6.3	7.1	15.7	6.9	13.7	15.3	14.0	16.6
Cu (μg g ⁻¹)	6.9	7.2	7.3	3.6	3.9	4.1	4.3	4.4
Ni (μg g ⁻¹)	4.9	5.1	4.4	2.7	13.1	5.3	4.3	2.7
Pb (μg g ⁻¹)	5.9	5.6	6.1	5.6	0.7	1.3	2.6	6.1
Zn (μg g ⁻¹)	46.5	50.5	72.0	22.5	35.0	42.0	33.0	28.0

de biosólidos se observaron las mismas especies dominantes que en el cultivo de alfalfa, mientras que sin ellos *S. purpurea* en el 2004 y *E. triangularis* en el 2005 mostraron la mayor abundancia (Cuadro 3). La riqueza específica fue baja: ocho especies en el cultivo de alfalfa y siete en el de maíz, Cutz-Pool *et al.* (2007) encontraron 19 y 29 especies en dos agroecosistemas mexicanos sembrados con alfalfa y maíz. El índice de diversidad de Shannon en el cultivo de alfalfa fue mayor que en el de maíz en ambas condiciones experimentales. Los valores de equitatividad en la alfalfa fueron similares, generalmente mayores que 0.6, y los de dominancia menores que 0.5, en tanto que para el maíz la equitatividad fue menor que en la alfalfa y la dominancia mayor, con valores superiores a 0.6 (Cuadro 3). La similaridad de especies entre ambos cultivos (Cuadros 4) fue alta en ambas condiciones experimentales (86 % y 77 %), mayor a la reportada (71 %) por Cutz-Pool *et al.* (2007). En el Cuadro 5 se presenta el análisis de varianza de estos atributos con los diferentes tratamientos en ambos cultivos.

Los resultados de los análisis de correlación entre la abundancia de colémbolos con la precipitación y temperatura se presentan en el Cuadro 6. Se observa que sólo la precipitación estuvo correlacionada con la densidad de colémbolos.

La mayor cantidad de materia orgánica en el suelo favoreció el crecimiento de ciertas poblaciones de colémbolos, que tienen hábitos fungívoros, como

The Shannon diversity index in the alfalfa crop was higher than in that of corn under both experimental conditions. The values of evenness in the alfalfa were similar, generally higher than 0.6, and those of dominance lower than 0.5, while for corn the evenness was lower than in the alfalfa and the dominance was higher, with values higher than 0.6 (Table 3). The similarity of species between both crops (Table 4) was high under both experimental conditions (86 % and 77 %), higher than that reported (71 %) by Cutz-Pool *et al.* (2007). Table 5 shows the analysis of variance of these attributes with the different treatments in both crops.

The results of the analyses of correlation between the abundance of collembolans with precipitation and temperature are shown in Table 6. It is observed that only the precipitation was correlated with the density of the collembolans.

The higher amount of organic matter in the soil favored the growth of certain populations of collembolans, which have fungivorous habits, as mentioned by Scheu and Folger (2004) and Sawahata (2006). The species with highest density was *Ballistura schoetti*, which is typical of habitats with high levels of organic matter including soils treated with sewage water (www.stevhopkin.co.uk; October 16, 2008). Other species collected here such as *Hypogastrura assimilis* (Krasbauer), *Proisotoma* sp., *Entomobrya* ca. *triangularis*, are reported as fungivorous and were the

Cuadro 3. Especies, abundancia, riqueza, índice de diversidad de Shannon, equitatividad de Shannon y dominancia de Simpson de colémbolos en alfalfa.

Table 3. Species, abundance, richness, Shannon diversity index, Shannon evenness and Simpson dominance of collembolans in alfalfa.

Tratamiento	Con biosólidos		Sin biosólidos	
	2004	2005	2004	2005
Especie/año				
<i>Hypogastrura assimilis</i> (Krasbauer)	433	542	131	105
<i>Ballistura schoetti</i> (Dalla Torre)	17 938	16	2264	2
<i>Entomobrya</i> ca. <i>triangularis</i>	3202	862	3464	1217
<i>Proisotoma</i> sp.	38	857	8	360
<i>Seira purpurea</i> Schött	956	256	1034	364
<i>Sphaeridia serrata</i> Folsom & Mills	60	84	223	80
<i>Adisianus maassius</i> (Palacios-Vargas & González)	27	16	8	10
<i>Sminthurus fitchi</i> Folsom	0	12	0	14
Abundancia (N)	22 654	2645	7132	2152
Riqueza (S)	7	8	6	8
Diversidad de Shannon (H')	1.35	1.77	1.43	1.49
Equitatividad de Shannon (J')	0.61	0.70	0.65	0.63
Dominancia de Simpson (D)	0.48	0.38	0.45	0.45

Cuadro 4. Especies, abundancia, riqueza, índice de diversidad de Shannon, equitatividad de Shannon, dominancia de Simpson de colémbolos en maíz, e índice de similaridad de Sorensen entre ambos cultivos.**Table 4. Species, abundance, richness, Shannon diversity index, Shannon evenness, Simpson dominance of collembolans in corn, and Sorensen similarity index between the two crops.**

Tratamiento Especie/año	Con biosólidos		Sin biosólidos	
	2004	2005	2004	2005
<i>Hypogastrura assimilis</i> (Krasbauer)	0	73	0	67
<i>Ballistura schoetti</i>	4541	0	1	10
<i>Entomobrya</i> ca. <i>triangularis</i>	316	1367	465	1280
<i>Sphaeridia serrata</i>	3	3	0	0
<i>Proisotoma</i> sp.	8	171	0	63
<i>Seira purpurea</i>	0	0	4056	0
<i>Sminthurus fitchi</i>	0	3	0	0
Abundancia (N)	4868	1617	4522	1420
Riqueza (S)	4	5	3	4
Diversidad de Shannon (H')	0.51	0.91	0.49	0.61
Equitatividad de Shannon (J')	0.39	0.51	0.41	0.34
Dominancia de Simpson (D)	0.83	0.64	0.81	0.78
Similaridad de Sorensen	0.86		0.77	

lo mencionan Scheu y Folger (2004) y Sawahata (2006). La especie con una mayor densidad fue *Ballistura schoetti*, que es típica de hábitats con altos niveles de materia orgánica incluyendo suelos tratados con aguas residuales (www.stevhopkin.co.uk; 16 octubre 2008). Otras especies aquí recolectadas como *Hypogastrura assimilis* (Krasbauer), *Proisotoma* sp., *Entomobrya* ca. *triangularis*, se reportan como fungívoras y fueron las más conspicuas durante el estudio. *Seira purpurea*, otra especie abundante es epifítica y se alimenta de nemátodos y exuvias de ácaros (Castaño-Meneses *et al.*, 2004).

most conspicuous during the study. *Seira purpurea*, another abundant species, is epiphytic and feeds on nematodes and exuviae of mites (Castaño-Meneses *et al.*, 2004).

The abundance of collembolans was determined by the content of organic matter and precipitation, ecological factors that influence the population density of most of the species of collembolans (Palacios-Vargas, 2000; Lindberg *et al.*, 2002). In

Cuadro 5. Análisis de varianza de la abundancia, riqueza de especies, diversidad de Shannon y dominancia de Simpson de colémbolos con y sin adición de biosólidos en los cultivos de alfalfa y maíz.**Table 5. Analysis of variance of abundance, species richness, Shannon diversity and Simpson dominance of collembolans with and without the addition of biosolids in the alfalfa and corn crops.**

Variable/factor	Valor de F	p
Abundancia: Biosólidos	0.05	0.82
Cultivo	0.32	0.57
Riqueza: Biosólidos	0.86	0.36
Cultivo	27.06	0.00 **
Diversidad: Biosólidos	0.98	0.33
Cultivo	42.94	0.00 **
Dominancia: Biosólidos	0.28	0.63
Cultivo	44.56	0.00 **

Cuadro 6. Correlación entre la abundancia de colémbolos y variables climáticas: temperatura y precipitación.**Table 6. Correlation between the abundance of collembolans and climatic variables: temperature and precipitation.**

Cultivo y condición:	Coefficiente de Pearson (R)	Valor de p
Alfalfa sin biosólidos:		
Abundancia y temperatura	0.36	0.24
Abundancia y precipitación	0.70	0.01 **
Alfalfa con biosólidos:		
Abundancia y temperatura	0.23	0.47
Abundancia y precipitación	0.77	0.00 **
Maíz sin biosólidos:		
Abundancia y temperatura	-0.63	0.18
Abundancia y precipitación	0.76	0.08
Maíz sin biosólidos:		
Abundancia y temperatura	-0.30	0.56
Abundancia y precipitación	0.86	0.03 *

La abundancia de colémbolos estuvo determinada por el contenido de materia orgánica y la precipitación, factores ecológicos que influyen en la densidad poblacional de la mayoría de especies de colémbolos (Palacios-Vargas, 2000; Lindberg *et al.*, 2002). En este estudio se observó que la materia orgánica, gran parte de ella proveniente de los biosólidos, disminuyó con el tiempo y se desarrollaban las poblaciones de colémbolos. Culik *et al.* (2002) señalan que la adición de estiércol como fertilizante aumentó la densidad de la mayoría de las poblaciones de los colémbolos en los agroecosistemas tropicales estudiados.

La riqueza de especies (S) fue muy baja y sólo se encontraron ocho, mientras que en estudios realizados en otros agroecosistemas se han obtenido valores mayores: Culik *et al.* (2002) encontraron 27 especies en un agroecosistema tropical que recibió fertilización orgánica, Guillén *et al.* (2006) 22 especies para un cafetal en Costa Rica, Mendoza *et al.* (1999) 30 especies en cultivo de maíz en Chiapas, y Cutz-Pool *et al.* (2007) 19 y 29 especies en dos agroecosistemas en el estado de Hidalgo. El tipo de suelo, el tipo de clima, el manejo del cultivo y el tipo de muestreo pueden ser la causa de estas diferencias.

Los índices de diversidad 1.35-1.77 en alfalfa y 0.49-0.91 en maíz fueron bajos, lo cual se observa frecuentemente en agroecosistemas con monocultivos: Culik *et al.* (2002) obtuvieron valores entre 1.28 y 2.14, Guillén *et al.* (2006) 1.65 y Cutz-Pool *et al.* (2007) 1.85 y 2.02. Los valores de equitatividad de la alfalfa, 0.61-0.70, fueron parecidos a los encontrados por Mendoza *et al.* (1999) 0.62-0.80, Guillén *et al.* (2006) 0.53 y Cutz-Pool *et al.* (2007) 0.55 y 0.69. En el maíz, la equitatividad fue menor (0.34-0.51). Los valores de los índices de dominancia de 0.38-0.48 en la alfalfa y de 0.64-0.83 en el maíz, indican predominio de una o dos especies, lo cual contrasta con los resultados de Cutz-Pool *et al.* (2007) quienes reportan valores de 0.26 y 0.18 que reflejan una abundancia más homogénea en las especies recolectadas.

La composición de especies de colémbolos en ambos cultivos fue muy parecida, 86 % de similitud con adición de biosólidos y 77 % cuando no se adicionaron.

Los análisis de varianza indican que la abundancia de colémbolos no cambió significativamente con la adición de biosólidos en los cultivos, lo cual se debió principalmente a la gran heterogeneidad de las

this study it was observed that the organic matter, a large part of it from the biosolids, decreased with time and the populations of collembolans developed. Culik *et al.* (2002) indicate that the addition of manure as fertilizer increased the density of most of the populations of collembolans in the tropical agrosystems studied.

The species richness (S) was very low and only eight species were found, whereas in studies carried out in other agrosystems higher values have been obtained: Culik *et al.* (2002) found 27 species in a tropical agrosystem that received organic fertilizer, Guillén *et al.* (2006) 22 species for a coffee plantation in Costa Rica, Mendoza *et al.* (1999) 30 species in a corn crop in Chiapas, and Cutz-Pool *et al.* (2007) 19 and 29 species in two agrosystems in the state of Hidalgo. Soil type, climate type, crop management and type of sampling may be the cause of these differences.

The indices of diversity 1.35-1.77 in alfalfa and 0.49-0.91 in corn were low, which is frequently observed in agrosystems with monocultures: Culik *et al.* (2002) obtained values between 1.28 and 2.14, Guillén *et al.* (2006) 1.65 and Cutz-Pool *et al.* (2007) 1.85 and 2.02. The values of evenness of the alfalfa, 0.61-0.70, were similar to those found by Mendoza *et al.* (1999) 0.62-0.80, Guillén *et al.* (2006) 0.53 and Cutz-Pool *et al.* (2007) 0.55 and 0.69. In the corn, evenness was lower (0.34-0.51). The values of the indices of dominance of 0.38-0.48 in the alfalfa and of 0.64-0.83 in the corn, indicate predominance of one or two species, which contrasts with the results of Cutz-Pool *et al.* (2007), who report values of 0.26 and 0.18, which reflect a more homogeneous abundance in the species collected.

The composition of species of collembolans in both crops was very similar, 86 % similarity with the addition of biosolids and 77 % when they were not added.

The analyses of variance indicate that the abundance of collembolans did not change significantly with the addition of biosolids in the crops, which was mainly due to the great heterogeneity of the abundances of the different species. The richness and Shannon diversity index in the alfalfa and corn crops were significantly different (Tables 3 and 4), given that in the corn values they are approximately half of those obtained in the alfalfa. On the other hand, the treatment with biosolids did not cause significant

abundancias de las diferentes especies. La riqueza y el índice de diversidad de Shannon en los cultivos de alfalfa y maíz fueron diferentes significativamente (Cuadros 3 y 4), ya que en los valores del maíz son aproximadamente la mitad de los obtenidos en la alfalfa. En cambio, el tratamiento con biosólidos no causó diferencias significativas en ambos cultivos. La dominancia mostró diferencia significativa en los diferentes cultivos, pero no con la adición de biosólidos.

El análisis de correlación confirmó que la precipitación fue la variable ambiental que influyó significativamente en la abundancia de los colémbolos en las dos condiciones experimentales para ambos cultivos. Este hecho ha sido señalado por los autores ya referidos, en el sentido que la humedad es un factor limitante para el crecimiento de la mayoría de las especies de este grupo biológico.

CONCLUSIONES

Se encontraron ocho especies de colémbolos edáficos; *Ballistura schoetti*, *Entomobrya* ca. *triangularis* y *Seira purpurea* fueron las más abundantes. La adición de materia orgánica presente en los biosólidos propició un gran desarrollo poblacional de *Ballistura schoetti* en ambos cultivos.

La precipitación fue la variable ambiental mejor relacionada con la abundancia de colémbolos, mientras que la diversidad de especies fue baja en todas las condiciones experimentales y la riqueza de especies fue menor en el cultivo de maíz.

La composición química de los biosólidos no representa una fuente de contaminación para los suelos, ya que su contenido de metales pesados es muy bajo. Por el contrario, la materia orgánica y los elementos minerales sirven de fertilizante para los cultivos y como alimento para ciertas poblaciones de microartrópodos, entre ellos los colémbolos.

LITERATURA CITADA

- Al-Assiuty, A. I. M., M. A. Khalil, and H. M. Abdel-Lateif. 2000. Effects of dry sludge application on soil microarthropod communities in a reclaimed desert ecosystem. *Pedobiologia* 44: 567-578.
- Andrés, P. 1999. Ecological risks of the use of sewage sludge as fertilizer in soil restoration: effects on the soil microarthropod populations. *Land Degradation & Development* 10: 67-77.
- End of the English version—
- *
- Anónimo. 1982. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin Elmer Corporation. Norwalk, Ct. 530 p.
- Bater, J. E. 1996. Micro and macroarthropods. In: Hall, G. S. (ed). *Methods for the Examination of organismal Diversity in Soils and Sediments*. CAB International. Wallingford. pp: 163-174.
- Bilde, T., J.A. Axelsen, and S. Toft. 2000. The value of Collembola from agricultural soils as food for a generalist predator. *J. Appl. Ecol.* 37: 672-683.
- Brower, J.E., J. E. Zar, and C. N. von Ende. 1997. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. 4th ed. WCB McGraw Hill. 273 p.

- Castaño-Meneses, G., J. G. Palacios-Vargas, and L.Q. Cutz-Pool. 2004. Feeding habits of collembola and their ecological niche. *Anales del Instituto de Biología Serie Zoología* 75: 135-142.
- Chambers, B.J., F.A. Nicholson, M. Aitken, E. Cartm, and C. Rowlands. 2003. Benefits of biosolids to soil quality and fertility. *The Journal* 17 (3): 162-167.
- Christiansen, K., and P. Bellinger. 1981. The Collembola of North America. Part 4 Families Neelidae and Sminthuridae. Grinnell College, Grinnell Iowa. 1043-1322.
- Culik, M. P., J. L. de Souza, and J. A. Ventura. 2002. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espírito Santo, Brazil. *Appl. Soil Ecol.* 21: 49-58.
- Cutz-Pool, L.Q., J.G. Palacios-Vargas, G. Castaño-Meneses, and N.E. García Calderón. 2007. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, Mexico. *Appl. Ecol.* 36: 46-52.
- Flores T. F.J., y L. Flores P. 2005. Los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 33: 4-11.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 4ª. ed. México, D.F. 217 p.
- Girovich, M.J. 1996. Biosolids characterization, treatment and use: an overview. In: Girovich, M.J. *Biosolids Treatment and Management: Processes for Beneficial Use*. Marcel Dekker, New York. pp: 1-46.
- Guillén, C., F. Soto A., y M. Springer. 2006. Diversidad y abundancia de colémbolos en un bosque primario, un bosque secundario y un cafetal en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30: 7-17.
- Lenoir, L., T. Persson, J. Bengtsson, H. Wallander, and A. Wiren. 2007. Bottom-up or top-down control in forest soil microcosms? Effects of soil fauna on fungal biomass and C/N mineralization. *Biol. Fertil. Soils* 43: 2281-294.
- Lindberg, N., J. B. Engtsson, and T. Persson. 2002. Effects of experimental irrigation and drought on the composition and diversity of soil fauna in a coniferous stand. *J. Appl. Ecol.* 39: 924-936.
- Mendoza, A. S., F. J. Villalobos, L. Ruiz Montoya, y A. E. Castro. 1999. Patrones ecológicos de los colémbolos en el cultivo de maíz en Balún Canán, Chiapas, México. *Acta Zool. Mex. (n.s.)* 78: 83-101.
- Mendoza, C.A., G. Cortés, and D. Muñoz. 1996. Heavy metal pollution in soils and sediments of rural developing District 063, Mexico. *Environ. Toxicol. and Water Quality* 11 (4): 327-333.
- Minitab, Inc. 2007. Meet Minitab 15. Statistical Software. State Coll. Pa.
- Palacios-Vargas, J.G. 2000. Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas* 29: 12-14.
- Sawahata, T. 2006. Hymenial area of agaric fruit bodies consumed by Collembola. *Mycoscience* 47: 91-93.
- Scheu, S., and M. Folger. 2004. Single and mixed diets in Collembola: effects on reproduction and stable isotope fractionation. *Functional Ecol.* 18: 94-102.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-REC-NAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación* 31 diciembre 2002. pp:1-75.