



DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA

EFECTO DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA TRATADORA DE
AGUAS DE AGUASCALIENTES (MÉXICO) SOBRE LOS ARTRÓPODOS DEL
SUELO DE DOS AGROECOSISTEMAS

Memoria presentada para optar al grado de Doctor
por la Universidad de Alcalá
Lizbeth Flores Pardavé

Alcalá de Henares, mayo de 2009

DEDICATORIA

A mis padres, porque siempre existieron palabras de apoyo cuando más lo necesité, por comprenderme y alentarme a no claudicar.

Porque con su amor, confianza, ejemplo y enseñanza, fortalecieron mi vida. Esta meta lograda también es de ustedes.

Con cariño y admiración.

A mi hermano, por darme ánimo en los momentos difíciles para seguir adelante, por creer en mí y estar conmigo. Con cariño

AGRADECIMIENTOS

El trabajo desarrollado ha sido posible gracias a la colaboración inestimable de muchas personas, así como por el apoyo económico que ha requerido. Por ello deseo expresar mi más sincero agradecimiento comenzando por las personas

En primer lugar, a mi directora de tesis, Dra. Ana Jesús Hernández Sánchez y al codirector, Dr. Francisco José Flores Tena, por darme la oportunidad de recurrir a sus conocimientos, capacidades y experiencia científica, sin lo cual no hubiera sido posible realizar esta investigación.

Al M. C. Q. Rafael Urzúa Macías, Rector de la Universidad Autónoma de Aguascalientes y a la jefa del Departamento de Biología de dicha Universidad, M. C. Lidia Marisela Pardavé por tantas facilidades ofrecidas: días por promover, motivar e impulsar mi formación profesional. Así mismo, al Dr. Miguel Ángel Rodríguez Fernández, Director del Departamento de Ecología de la Universidad de Alcalá tanto por el apoyo dado durante mis estudios de doctorado, como las facilidades para que este trabajo pudiera ver su final.

Al M.C. Jaime Escoto Rocha, profesor de Zoología de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, por su valiosa colaboración en la identificación de los artrópodos edáficos. Y a los profesores de la Universidad Nacional Autónoma de México, del grupo de Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Dr. José Guadalupe Palacios Vargas, Dra. Gabriela Castaño Meneses y al Dr. Leopoldo Cutz Pool, por su implicación en la determinación de los colémbolos. Así mismo, al Dr. Jesús Pastor Piñeiro, investigador científico del Centro de Ciencias medioambientales del CSIC de Madrid, por su apoyo en el análisis de datos estadísticos.

Al M. C. Mario A. López Gutiérrez responsable del Área Agrícola La Posta de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, a D. Raúl Martínez Martínez propietario del Rancho San José, a D. Ramón Lomas Lomas, propietario del Rancho La Salada y a D. Juan Manuel Castañeda, propietario del Rancho San Nicolás, por facilitarnos las parcelas para la realización de todos los ensayos experimentales realizados en campo.

A D. José Luis Alvarado Espinosa por su valiosa ayuda y colaboración desinteresada en los muestreos de campo a lo largo de estos años, así como a D. Juan

Daniel Rendón Trinidad por su colaboración también en en los muestreos de campo, conteo de organismos, así como la toma de fotografía al microscopio estereoscópico de algunos artrópodos del suelo. A la bióloga Araceli Adabache Ortiz, gracias por la realización de fotos al microscopio estereoscópico y al microscopio electrónico de barrido.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Estado de Aguascalientes (CONCYTEA) pude disfrutar de una beca durante los años 2001-2004. Ello me permitió el desplazamiento y estancia durante dos años en Universidad de Alcalá (Madrid) para la realización de los cursos del programa de Doctorado.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes, le debo el apoyo financiero a través de los proyectos de investigación: PIT 04-1 “Estudio de las características de los residuos sólidos de la plana tratadora de aguas residuales de la ciudad de Aguascalientes y su impacto en el ambiente” y del PIT 07-1 “Estudio del impacto de los biosólidos sobre los artrópodos edáficos y la biota acuática”. Además, al Programa para el Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) a través del presupuesto PIFI (FOMES 2007) y al Programa Operativo Anual (POA) 2009 del departamento de Biología de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, que me ha permitido realizar la última estancia en el Dpto. de Ecología de la Universidad de Alcalá para poder ultimar la tesis con mi directora.

Debo también agradecer Al programa EIADES de la Comunidad de Madrid “Evaluación de impacto ambiental y recuperación del medio natural en emplazamientos contaminados”, la ayuda económica para que la Dra. Hernández pudiera acompañar la puesta a punto de gran parte de los ensayos experimentales en Aguascalientes, así como para la poder presentar parte de nuestros resultados a congresos internacionales.

Finalmente, gracias a mis amigas y amigos por alentarme a seguir, por su apoyo incondicional y por estar siempre ahí para mí. Y un agradecimiento general a todas aquellas personas que de una u otra manera ayudaron para la realización de esta investigación, entre las que no quiero olvidar a Ana Guerrero y Marta Rueda en Alcalá de Henares.

**PRESENTACIÓN DE ESTA MEMORIA: OBJETIVOS DEL TRABAJO,
PLANTEAMIENTOS MEODOLÓGICOS GENERALES
Y EXPOSICIÓN DE RESULTADOS**

**PRESENTACIÓN DE ESTA MEMORIA: OBJETIVOS DEL TRABAJO,
PLANTEAMIENTOS METODOLÓGICOS GENERALES Y
EXPOSICIÓN DE RESULTADOS**

1. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA TEMÁTICA ABORDADA

El nivel de consumo de las sociedades actuales ha incrementado la producción de desechos orgánicos que, de no procesarse adecuadamente, aumentará el riesgo de contaminación para las poblaciones humanas y para el medio ambiente. A finales del siglo pasado, América Latina producía anualmente 3,3 billones de residuos (Navarro-Perdeño et al., 1995). Prácticamente a partir de esas fechas se ha comenzado a dar importancia a la investigación científica que pueda permitir el uso de dichos residuos en la agricultura de la región latinoamericana, con el fin también de ir evaluando sus correspondientes efectos.

Por otra parte, la distribución del recurso hídrico en México es muy desigual. En la parte sur y en la mayoría del territorio costero es muy abundante; en cambio en la zona norte y en el Altiplano que es donde se concentra más de la mitad de la población mexicana, este recurso es escaso. Ante tal situación en los últimos treinta años ha sido necesario un cambio en el uso del agua, el cual se ha ido extendiendo en la última década a gran parte de los estados del centro y norte del país, y que consiste en el reciclamiento y reutilización de la misma. Ello ha contribuido sin duda a la emergencia de plantas depuradoras de aguas residuales y, con ello al uso de los biosólidos originados en su tratamiento, como fertilizantes y mejoradores del suelo en el campo mexicano, aunque todavía es una enmienda reciente (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, 2002). Así, en este país, las investigaciones sobre los biosólidos se han centrado en determinar las características y las dosis adecuadas para obtener los mejores rendimientos de diversos cultivos, aunque comienza también a evaluarse la repercusión que puede tener también el riego continuado con las aguas resultantes del tratamiento de las depuradoras (Lucho-Constantino, et al., 2003). Ahora bien, si se han realizado estudios para conocer el impacto sobre la fauna del suelo, éstos no han tenido difusión hasta el momento presente.

En los núcleos urbanos, como es el caso de la ciudad de Aguascalientes, capital del estado mexicano con este mismo nombre y que aglutina la mayor densidad de población de sus municipios, se originan grandes volúmenes de aguas residuales que son tratadas en una estación depuradora. Dicha planta propicia grandes cantidades del subproducto resultante que son los lodos residuales. De entre todos los destinos posibles de este producto, destaca su aplicación a la agricultura como alternativa generalizada, como ocurre en la mayoría de otros lugares del mundo (Soler-Rovira et al., 1999; Sastre et al., 2006), dado que otras posibilidades de utilización de los mismos tienden actualmente a desaparecer por los riesgos medioambientales que conllevan (Hall, 1995).

Siendo lo expuesto anteriormente el amplio marco donde se encuadra la temática abordada, mencionamos a continuación las mayores dificultades encontradas para operativizar los objetivos que nos proponíamos alcanzar y que se detallarán más adelante.

a) La **diversidad taxonómica de los organismos del suelo es inmensa y cada especie requiere protocolos distintos para su taxonomía**, de acuerdo a su tamaño corporal, biología e estilos de vida (Kingston, 2001). Además, individuos de cada especie o de cada grupo de especies de la fauna edáfica, tienen un buen potencial para interaccionar en un número de posibles rutas con otras especies en un mismo sitio o localidad. Por esta razón resulta también difícil el adaptarse a una clasificación detallada si se tiene en cuenta el criterio de grupos tróficos para los artrópodos del suelo.

Sin embargo, el incremento de los conocimientos sobre los problemas de la degradación del suelo está contribuyendo a tener que intensificar la investigación sobre la fauna edáfica como una prioridad para la evaluación de la calidad o de la salud de un suelo (Parisi et al, 2005). Se reconoce que la mesofauna constituye un componente clave en la biota edáfica (nematodos y microartrópodos fundamentalmente). Este último grupo, y en especial colémbolos y ácaros, son los más abundantes en los hábitats tropicales terrestres (por su Tª y sus tipos de suelo), según se viene reconociendo desde el trabajo de Petersen and Luxton (1982).

En el trabajo de Urcelai et al. (2000), se han puesto de manifiesto, y comparados entre sí, varios índices para identificar la degradación de un suelo mediante la nematofauna edáfica, y Parise et al. (2005), proponen también índices basados en los microartrópodos. Precisamente, de este último trabajo citado, nos interesa destacar que en esta tesis se han sido seguido los principales pasos metodológicos que los autores referidos también utilizan para la construcción y aplicación del índice QBS (un índice

para la evaluación de la calidad del suelo). Y ello, no porque hayamos llegado a proponer hasta la fecha ningún índice concreto, ni artrópodos edáficos como bioindicadores de degradación de suelos, sino porque de acuerdo con dichos investigadores, reconocemos que el análisis taxonómico de las especies de la mesofauna entraña muchas dificultades.

No obstante, podemos por ejemplo, conocer de los microartrópodos edáficos caracteres morfológicos que revelan adaptaciones a los ambientes edáficos, tales como reducción o pérdida de pigmentación, aparatos visuales, reducción de apéndices (antenas, patas) o tipo de pelos. Observando la presencia de estos caracteres, y no requiriendo una identificación taxonómica compleja, ya que no somos especialistas en estos organismos, nos ha ayudado la observación de dichos caracteres mediante las técnicas de microscopía precisas, a la identificación de grupos de estos invertebrados edáficos sobre los que se ha centrado el estudio de los efectos de aplicación de biosólidos llevado a cabo. No obstante, hemos contado con algunos especialistas del área de Zoología de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, así como del Grupo de Ecología y Sistemática de Microartrópodos del Dpto. de Ecología y Recursos Naturales de la Universidad Nacional Autónoma de México en el momento que ha sido requerida su ayuda como expertos.

Las fases seguidas para todos los ensayos de campo efectuados han sido: muestreo, extracción, conservación de especímenes y determinación de formas biológicas presentes en cada muestra de suelo. La denominación de especímenes coincide con las también usuales en la bibliografía de morfotipos y de morfoespecies.

b) Dificultades para la discusión de resultados de la investigación. Es difícil el disponer de datos comparables con los obtenidos por nosotros, tanto por el tipo de suelo y clima en donde se aplican los biosólidos, como por la lógica distribución biogeográfica de las poblaciones del suelo. Tampoco, en lo relativo a la composición química de los lodos, tanto por las distintas técnicas utilizadas para la determinación de los compuestos, como por las unidades empleadas para muchos de sus parámetros (meq/l, ppm, %, etc.) Y por último, otra dificultad añadida es que para el caso de los agroecosistemas forrajeros en donde se ha llevado a cabo este estudio, al igual que ocurre en otros lugares mexicanos (Lucho-Constantino et al., 2003), se utilizan aguas residuales en algunos ranchos para el riego que, lógicamente, incorporan compuestos al suelo y no es posible atribuir solo a la composición de los biosólidos aplicados algunos efectos sobre las comunidades edáficas.

Por tanto, todas estas cuestiones reportan dificultades para la discusión de los resultados de nuestro trabajo, aunque reconocemos que esta es la realidad de nuestro escenario de trabajo y la que ha determinado los objetivos que nos propusimos abordar.

Finalmente decir que varios estudios han puesto de manifiesto la existencia de cambios en la abundancia y composición de especies de estos grupos de invertebrados en suelos naturales cuando se incrementan los niveles de metales pesados en los mismos. En la actualidad los métodos para la evaluación del impacto de la contaminación del suelo en los organismos de las comunidades edáficas contemplan tanto bioensayos de campo como en laboratorio (SCOPE 53). La mayoría de los bioensayos característicos en ese último caso versan sobre la toxicidad potencial de muestras de suelos recogidas en campo pero estudiadas en laboratorio comparándolas con alguna especie test (prácticamente el colémbolo *Folsomia candida*). Los resultados de los bioensayos se aplican para determinar la biodisponibilidad del contaminante en suelos como un indicador de riesgos potenciales en niveles tróficos superiores. Lógicamente cabe deducir que se trata de estudios puntuales y no son referentes para una óptica de diagnóstico ecotoxicológico de un emplazamiento determinado. No obstante, es una línea que comienza a emerger en la investigación científica acerca de la salud de ecosistemas.

2. OBJETIVOS

Por lo anteriormente señalado se consideró pertinente el realizar este estudio que contempla el efecto de la aplicación de los biosólidos en los artrópodos del suelo de dos de los cultivos más comunes en el Valle de Aguascalientes, con el fin de contribuir por un lado, al conocimiento de los posibles impactos y/o efectos positivos de esta enmienda de fertilidad sobre esta componente heterótrofa del suelo; pero también, el poder tener resultados que permitan recomendar la utilización de estos lodos residuales con mayor o menor restricciones a las circunstancias concretas del territorio de estudio.

Objetivo general:

Evaluar el efecto de la adición de biosólidos en los artrópodos del suelo de dos agroecosistemas forrajeros mayoritarios en el altiplano mexicano (alfalfa y maíz).

Objetivos específicos:

- Caracterizar los biosólidos producidos en la planta tratadora de aguas residuales más importante del estado de Aguascalientes: composición relacionada con la fertilidad y toxicidad en base a su aplicación a los suelos de los agroecosistemas.

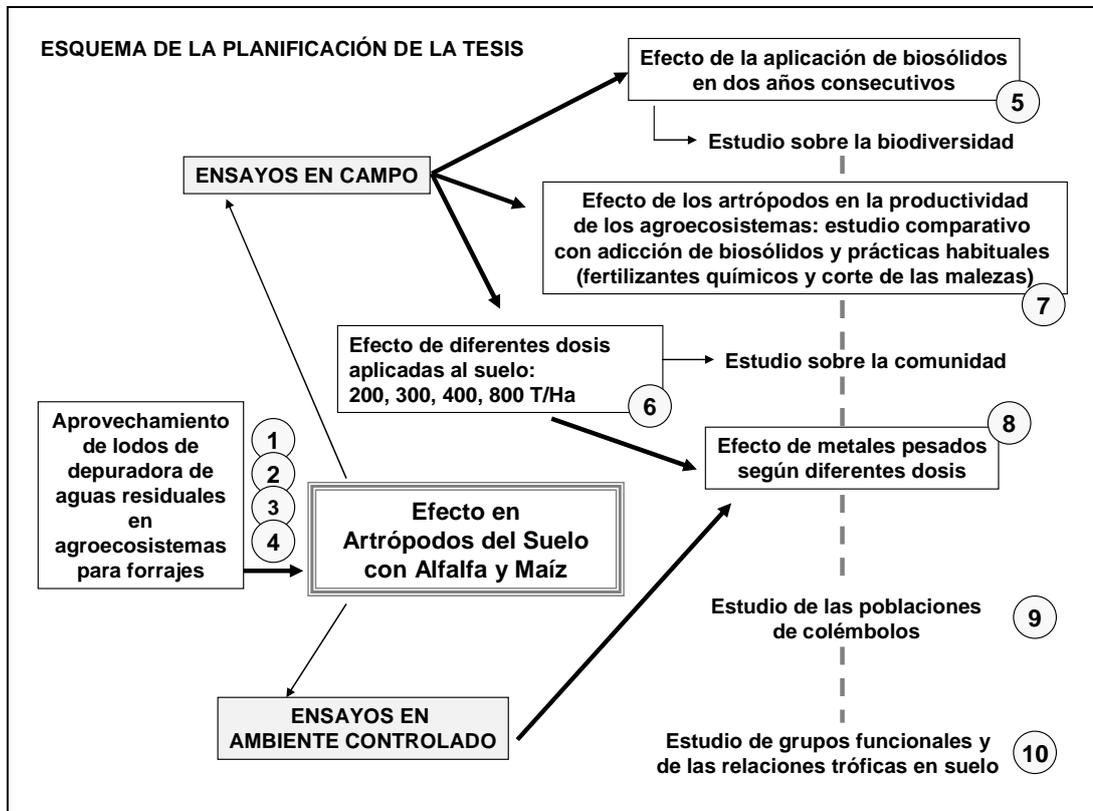
- Estimar la abundancia y la diversidad de los artrópodos edáficos mediante ensayos experimentales llevados en campo que contemplen diferentes dosis de aplicación de biosólidos al suelo de estos dos agroecosistemas
- Estudiar de forma comparativa la relación entre la fauna edáfica de artrópodos y la producción de forraje con usos habituales de manejo realizados en los agroecosistemas mexicanos y la práctica emergente de la adicción de biosólidos.
- Profundizar en las relaciones tróficas de los artrópodos en suelos con aplicación de lodos residuales, así como en las relaciones de estos organismos con los metales pesados que estos residuos incorporan al suelo.
- Identificar grupos funcionales de artrópodos edáficos en los agroecosistemas con adicción de biosólidos
- Aportar conocimientos científicos acerca de los artrópodos edáficos en México, especialmente de alguno de los grupos que tenga mayor abundancia en los sistemas estudiados.

3. PLANTEAMIENTOS METODOLÓGICOS GENERALES Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Se muestra en la figura 1 una síntesis articulada de los grandes ejes metodológicos que se han seguido en esta investigación con los capítulos en que se exponen los resultados obtenidos. Aunque el tiempo dedicado no ha sido nada escaso, las dificultades de la temática tratada a la que hacíamos referencia en el primer apartado de este capítulo, no ha permitido la publicación de todos los resultados. Pero ello no ha sido óbice para que sean presentados según la ortodoxia en que podrán serlo en un futuro próximo, si bien algunos aspectos parciales ya han sido publicados y/o presentados en diferentes congresos internacionales, como se alude al comienzo de cada uno de los capítulos de esta memoria.

Se podrá observar que en algunas de las introducciones y del epígrafe material y métodos de cada uno de los artículos (capítulos de la memoria), se repite alguna cuestión que también ha sido referida en otro. Ello es consecuencia de la independencia de cada uno de los artículos, así como de no disponer todavía de las publicaciones de algunos de los que le preceden y a los que solamente habría que mostrar sus correspondientes referencias.

Figura 1. Esquema que muestra los principales componentes del estudio (en recuadros), los ejes metodológicos (en flechas de trazo continuo), el eje de estudio ecológico (en trazo discontinuo) y el n° de capítulo en que exponemos los resultados (en círculo)



Un total de tres grandes ensayos experimentales en campo, con distintos tiempos de duración (dos años consecutivos después de una aplicación de biosólidos y otros dos ensayos de seis meses después de la adicción de los biosólidos), así como de otro bioensayo en condiciones controladas (de tres meses de duración) realizados para cada uno de los agroecosistemas (alfalfa y maíz), han implicado mucha dedicación a la recogida y procesado de las muestras de artrópodos. Aunque en cada uno de los capítulos de esta memoria nos referiremos al diseño experimental y muestreos realizados en cada uno de dichos ensayos, diremos a modo de ejemplo, que el volumen de muestras ha tenido en ocasiones el procesar (recogida en trampas, preparación en laboratorio, identificación con estereomicroscopio y, según el tamaño de los organismos, la realización de las preparaciones para el microscopio óptico de contraste de fases o para el microscopio electrónico de barrido), un máximo de hasta 324 y un mínimo de 27.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hall, J. E. 1995. Sewage sludge production, treatment and disposal in the European Union. *J.CIWEM*, 9: 335-343

Hernández, A. J. 1985. *Significado ecológico de los componentes edáfico, radicular y nematológico de pastos luso-extremadurenses*. Tesis Doctoral Universidad Autónoma de Madrid

Kingston, T. 2001. Soil fauna and the sustainability of arable soil: the earthworm viewpoint. In *Soil Health: the Foubdation of Sustainable Agriculture*

Lucho-Constantino, C.A.; Prieto-García, F.; Sastre-Conde, I.; Beltrán-Hernández, R.I. y Poggi-Varaldo, H.M. 2003. Efecto de la irrigación con aguas residuales en el fraccionamiento de Cd, Cr y Pb de suelos agrícolas en la zona central de México. En *Control de la Erosión y Degradación del Suelo*. R. Biene y M^a J. Marqués (eds.). Ed. Comunidad Autónoma de Madrid: 393-396

Navarro-Perdeño, J.; Moral Herrero, G. y Mataix, B. 1995. *Residuos orgánicos y agricultura*. Ed. Universidad de Alicante, Servicio de Publicaciones.

Parisi, V.; Menta, C.; Gardi, C.; Jacomini, C. and Mozzanica, E. 2005. Microarthropod communities as a tool assess soil quality and biodivedrsity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105: 323-333

Petersen, H.; and Luxton, M. 1982. a comparative analysis of soil fauna populations and their role in descomposition processes. *Oikos*, 39: 287-388.

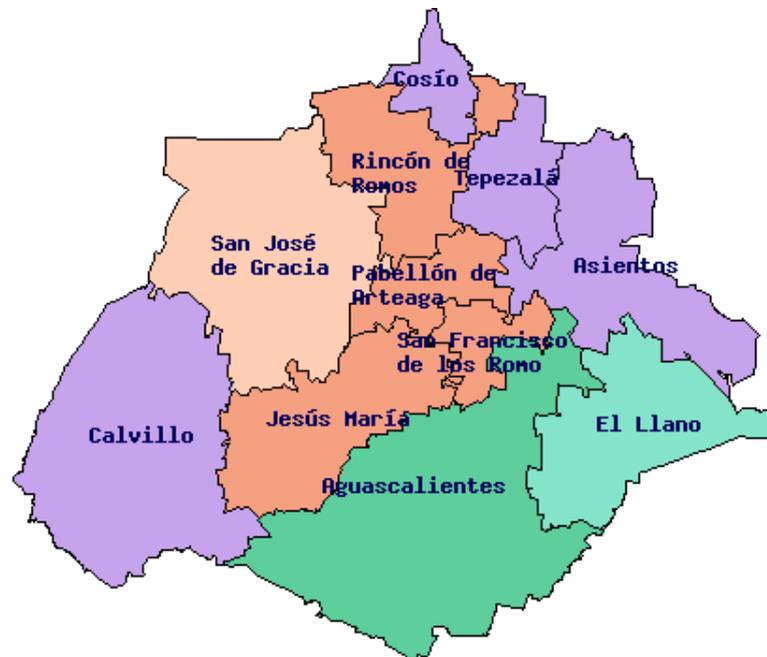
Sastre Conde, I.; Cabezas, J.G; Ibáñez-Burgos, A.; Vera, J. y Lobo, M^a.C, 2006. Utilización de residuos orgánicos en la recuperación de suelos. Tecnologías para el Tratamiento de suelos contaminados. Ed. IMIDRA-Comunidad de Madrid: 242-258

SCOPE 53. *Methods to Assess the Effects of Chmeical on Ecosystems*. Versión electrónica

Soler-Rovira, P.; Polo, A. Y Gumuzzio, J.1999. Utilización y problemas ambientales de los lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales. En *Malestar Ambiental en la Ciudad*. Ed. Universidad Autónoma de Madrid: 133-162

Urcelai, A.; Hernández, A. J. and Pastor, J. 2000. Biotic indices based on soil nematode communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 247: 253- 261.

**CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TERRITORIO DE AGUASCALIENTES:
UBICACIÓN GEOGRÁFICA, CLIMA, PAISAJE Y VEGETACIÓN,
SUSTRATOS Y SUELOS, AGROECOSISTEMAS REPRESENTATIVOS**

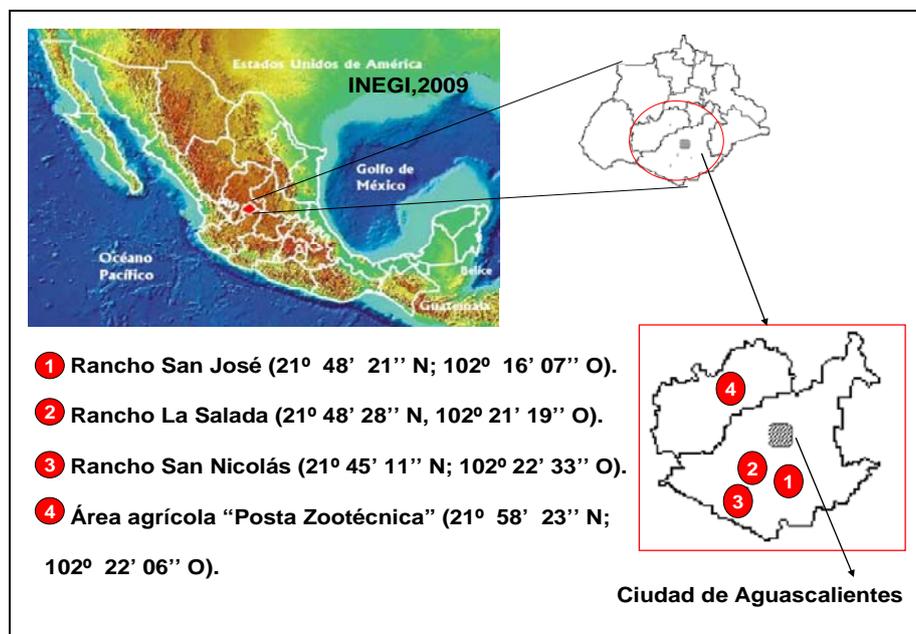


CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TERRITORIO DE AGUASCALIENTES: UBICACIÓN GEOGRÁFICA, CLIMA, PAISAJE Y VEGETACIÓN, SUSTRATOS Y SUELOS, AGROECOSISTEMAS REPRESENTATIVOS

1. Ubicación geográfica, clima, paisaje y vegetación

El estado de Aguascalientes tiene una extensión de 5. 618 km² y una población total de 1 065 416 habitantes. Representa aproximadamente el 0.3% de la superficie de México, colinda al norte, noreste y oeste con el estado de Zacatecas y al sureste y sur con Jalisco. La capital del estado es Aguascalientes, con una extensión de 1. 173 km² que representa el 20.09% de la superficie del Estado y tiene una población de 723. 043 habitantes. El territorio de estudio donde se han llevado a cabo los ensayos experimentales queda ubicado como se muestra en la figura 1.

Figura 1 Ubicación del territorio de estudio

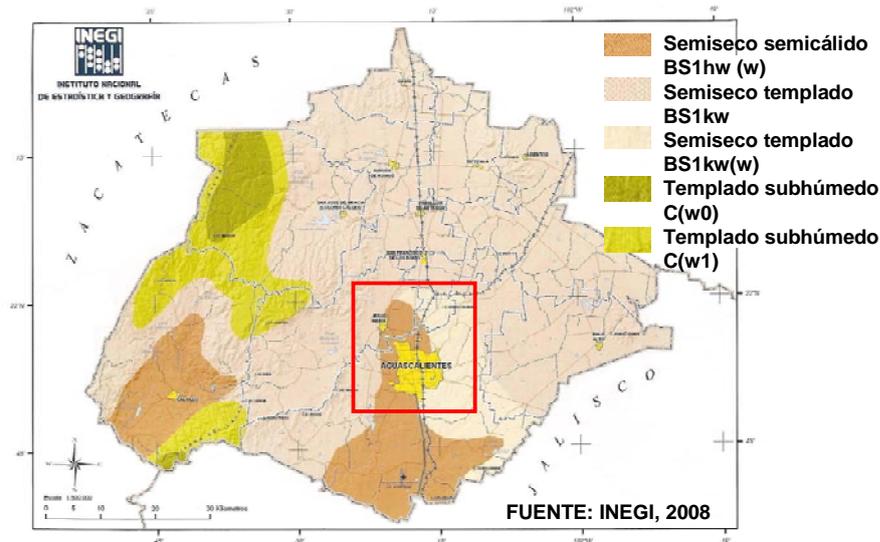


Las características correspondientes a la casi totalidad de este capítulo están referidas esencialmente a los estudios expuestos en CONABIO, IMAE, UAA (2008), e

INEGI (2009), así como en los antecedentes de la obra de Síntesis Geográfica de Aguascalientes (SPP, 1981) y la cartografía de suelos en México (Guerrero, 2007).

Con base en el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1988), en el estado de Aguascalientes prevalecen los subtipos de climas semisecos, con dos subtipos: semiseco cálido y semiseco templado, abarcando poco más del 86% de la superficie estatal; el 14% restante del territorio pertenece al tipo de climas templados (figura 2). El territorio de estudio presenta un clima semiseco semicálido. Denominado también seco estepario, porque la evaporación excede a la precipitación y está asociado principalmente a comunidades vegetativas del tipo matorral desértico y vegetación xerófila como veremos más adelante. Con lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre el 5 y 10,2 mm. La precipitación media anual oscila entre los 500 y los 600 mm y la T^a media anual es superior a los 18°C.

Figura 2. Tipos de clima en el estado de Aguascalientes (México)



Mapa de Climas

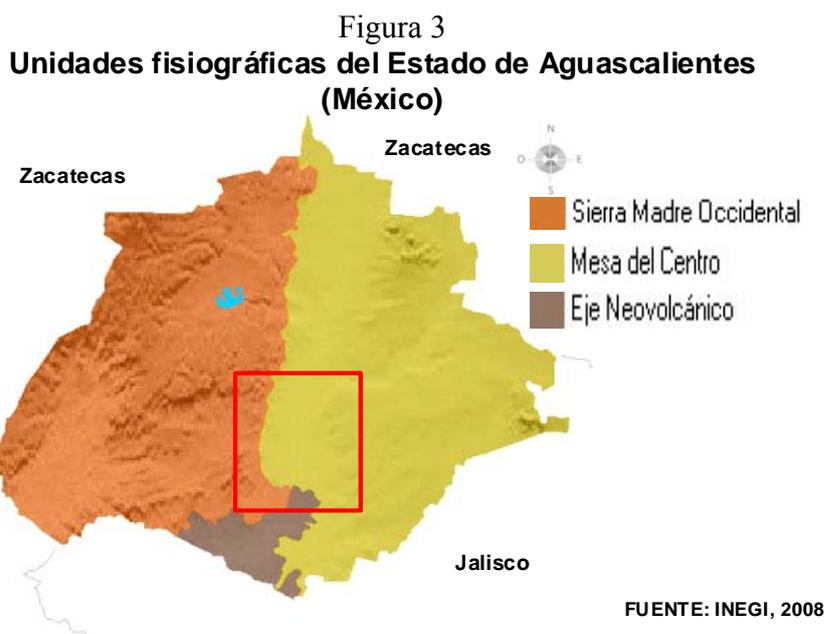
- Semiseco semicálido 500-600 mm 18°C
- Semiseco templado 400-600 mm 18°C

La máxima ocurrencia de lluvias oscila entre los 110 y 120 mm, registrándose en el mes de junio. La mínima se presenta en el mes de marzo con un rango menor de 5 mm. El régimen térmico más cálido se registra en mayo con una temperatura entre los 22 y los 23° C, siendo el mes más frío enero con una T^a de 13 y 14° C. El subtipo semiseco templado se caracteriza por lluvias de verano, y un escaso nivel de

precipitación en el invierno como hacíamos alusión. Es el clima dominante en este territorio y se presenta en todos los municipios.

Los climas templados están asociados a los bosques de encinos y de pino-encino, así como a los pastizales. Su temperatura media anual varía 12.5° y 18.0°C y la precipitación total anual es de 600 a 800 mm. Existen dos subtipos templados subhúmedos con lluvias en verano de menor humedad y subhúmedos con lluvias en verano de humedad media.

La altitud de las diferentes localidades del territorio de estudio está comprendida entre los 1851-1914 m. En todo el estado la altitud va de los 1540 a los 3050 m, de tal manera que en las zonas más baja se reporta un rango de Tª media anual entre 20 y 22°C, mientras que en las cumbres de la Sierra Fría el rango es de 16 a 18°C. Por otra parte, la lejanía con respecto a las masas de agua influye en la amplitud de la oscilación térmica diaria y estacional, así que en general los climas del Estado son extremos.



En relación al paisaje nos referiremos a las unidades fisiográficas a continuación. El estado de Aguascalientes está comprendido dentro de tres grandes provincias fisiográficas que son: La Sierra Madre Occidental (Subprovincia de las Sierras y Valles Zacatecanos), La Mesa del Centro (Subprovincia de los Llanos de Ojuelos) y El Eje Neovolcánico (Subprovincia de los Altos de Jalisco.) (figura 3)

El territorio de estudio se localiza en las provincias más predominantes que son la Sierra Madre Occidental al oeste y la Mesa Central al este. La primera de ellas se caracteriza por sus sierras altas, alargadas en sentido norte-sur y frecuentemente rematadas por mesetas, que se alternan con valles también alargados en ese sentido y cuyos pisos son a veces de pendiente suave, pero que con mayor frecuencia presentan terrazas y lomeríos, que son probable producto de la erosión de antiguos pisos de valle más altos que los actuales. El drenaje se dirige a través de los valles hacia el noreste, y sólo en su porción austral se encuentran algunas corrientes que desembocan en el sur, en los ríos Verde y Grande de Santiago. A diferencia de otras regiones de la Sierra Madre Occidental en esta región no hay un predominio de grandes mesetas altas y cañones. Las primeras se encuentran sustituidas por sierras, y los segundos se hallan rellenos por materiales de acarreo y transformados en valles. Estos sistemas son los que dominan, pero también presentan superficies de mesetas pequeñas, aisladas o en conjunto y lomeríos asociados con cañadas, en pequeños grupos o aislados, en los pisos amplios de valles.

Figura 4. Altiplano mexicano con matorral



La región de la Mesa Central se caracteriza por presentar llanos extensos, situados entre 2000 y 2050 m, de piso consolidado y cubierto sólo por una capa muy somera de aluviones. Hay dos llanos de este tipo: el de Ojuelos y el Aguascalientes, que se extiende al oriente de esta ciudad. Entre ellos se encuentra un grupo de mesetas muy

disectadas, la mayoría de cuyas superficies está entre 2,300 y 2,350 m Hay también algunos picos como el cerro El Espía, que alcanza 2,600 m de altitud.

Figura 5. Matorral con *Yuca* al fondo (arriba), *Yucca carnerosana* (arriba derecha), pastizal (abajo izda.) y bosque de encino abajo (abajo dcha)



En la Sierra Madre Occidental el matorral desértico micrófilo es el que domina (Figura 4). Se presenta en todos los sistemas de topofomas con excepción de las sierras bajas y el piso amplio de valle con lomeríos. Se encuentra distribuido de los 1900 a los 2500 m, en zonas de clima semiseco semicálido y semiseco templado y la altura de las especies dominantes es de 4,5 m. En esta unidad fisiográfica del paisaje del estado de Aguascalientes se pueden distinguir a su vez cinco sistemas de topofomas:

a) *Sierras altas con mesetas*, presentando una vegetación es bosque de encino, matorral desértico micrófilo y pastizal inducido. Especies arbóreas y arbustivas representativas son *Quercus* sp, *Acacia farnesiana*, *Arctostaphylos* sp., *Dodonaea* sp., *Muhlenbergia* sp., *Bouteloua trifida*, *Aristida* sp., y herbáceas *Eragrostis* sp., *Stipa* sp., y *Cynodon* sp.

b) *Sierras bajas*, que presenta vegetación de chaparral, pastizal natural y bosque de encino. Además de algunas de las especies arbóreas de las sierras altas, en estas sierra bajas se aprecian especies como *Yucca carnerosana* y *Opuntia* sp (figura 5).

Figura 6. Mezquite (*Prosopis laevigata*), *Opuntia* sp. y Huizache (*Acacia farnesiana*). Tres especies características del paisaje del territorio de estudio.



c) *Superficie de meseta pequeña*, con vegetación de bosque de encino, bosque de encino-pino, matorral desértico micrófilo, chaparral, matorral subtropical, matorral crasicaule, pastizal natural y pastizal inducido. Especies representativas son *Quercus* sp, *Pinus* sp., *Juniperus* sp., *Arbutus* sp., *Arctostaphylos* sp., *Acacia* sp., *Opuntia* sp.,

Dodonaea sp., *Ipomoea* sp., *Eysenhardtia* sp., *Aristida* sp., *Microchloa* sp., *Muhlenbergia* sp., *Bouteloua* sp., *Aristida* sp., *Eragrostis* sp., *Stipa* sp., *Cynodon* sp., *Rhynchelytrum* sp. y *Sporobolus* sp.

d) *Piso amplio de valle*, con matorral desértico micrófilo y pastizal natural. Géneros y especies representativas *Acacia farnesiana* (figura 6), *Prosopis laevigata*., *Dodonaea* sp., *Ipomoea* sp., *Eysenhardtia* sp., *Aristida* sp. y *Microchloa* sp.

e) *Lomerío asociado con cañadas*, con bosque de encino, matorral desértico micrófilo, chaparral, pastizal natural y pastizal inducido.

En la Mesa Central tres tipos de vegetación son los mejor representados el matorral desértico micrófilo, el matorral crasicaule y el mezquital. Se encuentran entre los 1800 y 2250 msnm en zonas de clima semiseco semicálido y semiseco templado. Esta unidad presenta seis sistemas de topoforma:

a) *Pequeñas sierras abruptas* con vegetación chaparral y bosque de encino.

Figura 7. Árboles refugio. Predominan los mezquites, pero también hay barreras mixtas con *Opuntia*, en la imagen de abajo



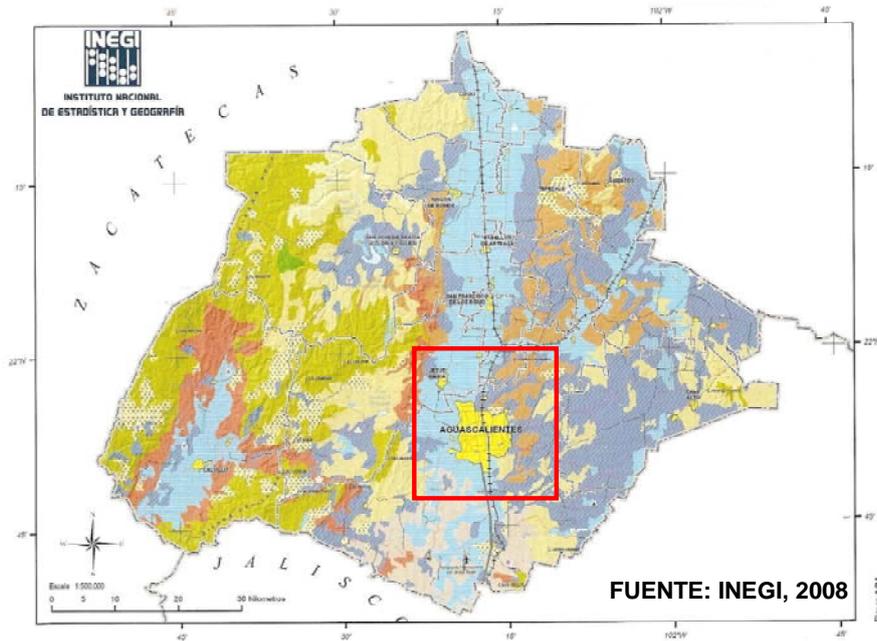
- b) *Sierras bajas*, como es el caso que predomina en el área de estudio si no está utilizado para la agricultura, apreciándose el matorral desértico micrófilo y mezquital (figura 6). Especies representativas son el *mezquite* (*Prosopis laevigata*), especies de *Opuntia*, y *Muhlenbergia*, así como *Bouteloua trifida* (*navajita roja*).
- c) *Sierras bajas con meseta* predominando la vegetación de matorral crasicaule; son cactáceas cilíndricas y aplanadas, con diversas especies del género *Opuntia* (*O. streptacantha*, *O. robusta*, *O. imbricate*, *O. leucotricha*, *Jatropha spatulata*).
- d) *Mesa extensa*, con matorral desértico micrófilo, matorral crasicaule y chaparral. Géneros y especies representativas *Acacia farnesiana*., *Prosopis* sp. y *Opuntia* sp.
- e) *Lomeríos muy suaves con valles*, de matorral desértico micrófilo y matorral crasicaule.
- f) *Llano de piso rocoso*, de matorral desértico micrófilo, matorral crasicaule, chaparral, pastizal natural y pastizal inducido

En la figura 8 se muestra el mapa de vegetación del estado de Aguascalientes. Aunque los agroecosistemas en donde se ha realizado nuestro trabajo predominan lógicamente los cultivos, hay que señalar la importancia de su proximidad a la vegetación arbórea y arbustiva de sus lindes, ya que es fundamental para los artrópodos del suelo (ver figura 7). Así mismo, destacamos las dos especies de poáceas consideradas “malas hierbas” (o malezas) de los cultivos, que se encuentran también en prácticamente todos los sistemas de pasto en este territorio (*Cynodon dactylon* y *Eleusine* sp.)

2. Sustratos geológicos y suelos

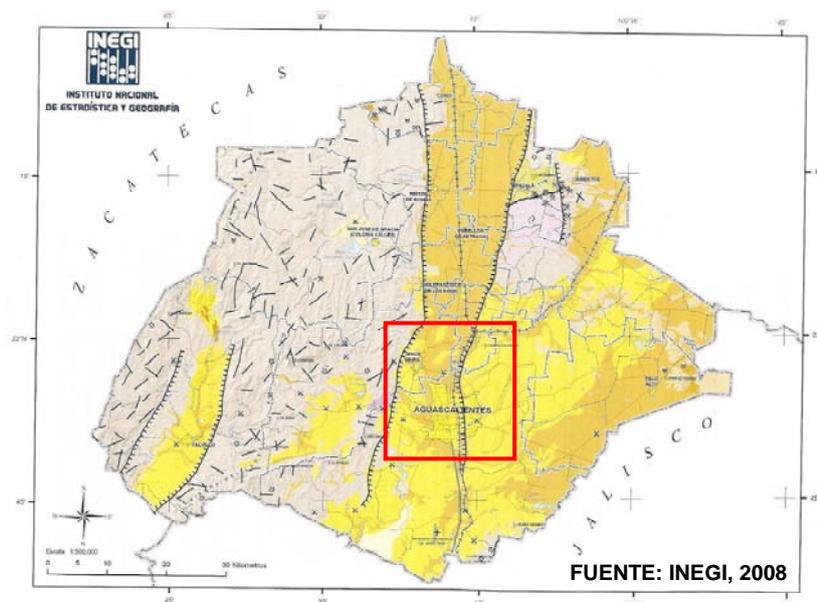
En la figura 9 se expone el mapa con los sustratos geológicos del estado. Como no puede apreciarse bien en el mapa, diremos que la provincia de la Sierra Madre Occidental presenta pequeños afloramientos de rocas metamórficas, pero principalmente rocas del terciario de origen volcánico (riolitas, tobas e ignimbritas), también algunos derrames de rocas ígneas extrusivas básicas, depósitos sedimentarios de tipo continental como areniscas, conglomerados y la asociación de ambos, así como depósitos aluviales del cuaternario que rellenan algunos valles. Las principales estructuras geológicas que se presentan en esta porción de la provincia son fallas de tipo normal, fracturas y coladas de lava.

Figura 8. Cartografía de la vegetación del estado de Aguascalientes (México)



- | | | | |
|---|----------------------|--|---------------------|
|  | Cultivos con Riego |  | Cultivo de Temporal |
|  | Matorral subtropical |  | Bosque de encino |
|  | Matorral crasicaule |  | Pastizal natural |

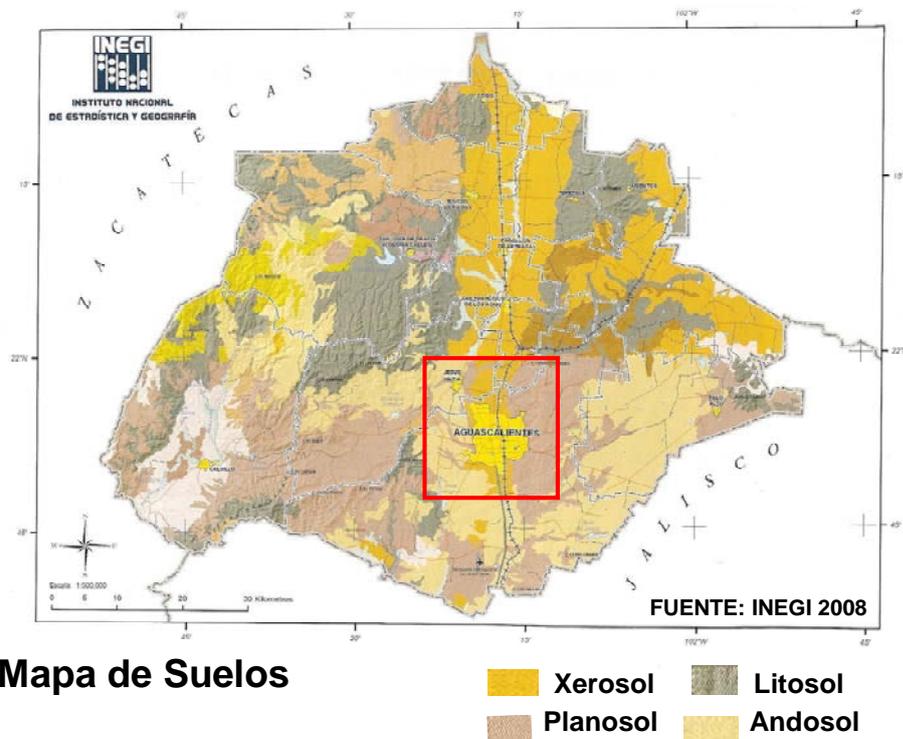
Figura 9. Tipos de rocas en el Estado de Aguascalientes



- | | |
|---|-----------------------|
|  | Basalto |
|  | Arenisca-conglomerado |
|  | Esquisto |

La Mesa del Centro, localizada en la porción oriental del estado, presenta rocas sedimentarias de origen marino como caliza, caliza-lutita y lutita-arenisca: afloran también algunos cuerpos de rocas ígneas intrusivas ácidas que han mineralizado a las rocas del cretácico, existen también rocas ígneas extrusivas ácidas que aparecen subyaciendo a los depósitos kárstico continentales (arenisca, conglomerados y arenisca-conglomerado). Son abundantes además los depósitos aluviales del cuaternario en los valles existentes. Las estructuras geológicas más importantes son dos pequeños cuerpos intrusivos mineralizantes, una falla regional, algunas coladas de lava y pequeñas fracturas que en algunos casos han sido mineralizados.

Figura 10. Mapa edafológico del estado de Aguascalientes



Con respecto a los suelos (figura 10) podemos decir que la práctica totalidad del territorio de estudio presenta dos tipos: *planosoles* y *xerosoles* según la nomenclatura de la FAO. Los primeros son suelos medianamente profundos 50-100 cm, tienen una capa endurecida con sílice o arcilla bien compactada que endurece el lavado lateral del agua, provocando erosión interna del suelo hacia partes más bajas del terreno. Muy en superficie pueden acumular un horizonte muy rico en materia orgánica de color oscuro y signos de hidromorfía. Pero inmediatamente debajo de esa capa aparece un horizonte

eluvial muy claro, que es de tipo *álbico*, pero siempre con marcada hidromorfia, muy impermeable y nada fértil. Y el horizonte B es de tipo argílico. Se localizan con más frecuencia en zonas semiáridas, y su vegetación por lo general es de pastizal y matorral, aunque son utilizados para la agricultura de regadío. Si bien los planosoles pueden acumular materia orgánica en su superficie (como sería mediante la aplicación de biosólidos, su evolución más frecuente tiende a la formación de complejos órgano-metálicos móviles.

Los *xerosoles* cuentan con capas superficiales claras y de bajo contenido en materia orgánica. Por debajo de los 20 cm se observa un aumento en el contenido de arcilla, pero de menor intensidad que los planosoles. Son moderadamente salinos y ocupan la región central del estado y colindan con suelos fluviales y fértiles de las riberas del Río San Pedro. En México, los xerosoles han sido bien caracterizados en relación a la agricultura de regadío, ya que su rendimiento agrícola está en función del agua para riego (Aguilera-Herrera e al, 1979). Son de baja susceptibilidad a la erosión, salvo en laderas o cuando están directamente sobre caliche y tepetate a escasa profundidad.

Otros suelos presentes en el estado de Aguascalientes son los *feozems*, que en los primeros 20 cm son oscuros, suaves, ricos en materia orgánica, y muy fértiles en general, sobre todo cuando se asocian a otros suelos de tipo fluvial. Se localizan en zonas planas y poco pedregosas, son profundos y se utilizan en la agricultura de riego o temporal de granos u hortalizas con altos rendimientos. Los menos profundos se localizan lógicamente en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy endurecida en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad

En la Sierra Madre Occidental, son frecuentes los *litosoles*, que son suelos muy delgados, con menos de 10 cm de profundidad y donde se ubican las comunidades de encinos y pinos en la Sierra del Laurel, la Sierra Fría o en importantes yacimientos minerales, como en la Sierra de Tepezalá. Cuando hay matorrales o pastizales sobre este tipo de suelo, pueden emplearse para pastoreo limitado o para la agricultura de maíz o nopal, siempre y cuando exista suficiente posibilidad de agua.

Estos cuatro tipos de suelo a los que nos hemos referido son los más predominantes en todo el estado: Feozems (21.4%), Litosoles (20.7%), Planosoles (19.5%) y Xerosoles (17.9%), y en conjunto abarcan casi el 80% de todos los suelos presentes en el mismo. No obstante, la presencia en este estado de rocas ígneas

extrusivas ácidas, de aluvión, tobas, brechas volcánicas, areniscas, regolitas, basalto conglomerados e ingninbritas, unido a los climas semiseco cálido, semiseco templado y templado subhúmedo, determinan la existencia de doce tipos de suelo: Xerosol háplico, Feozem háplico, Planosol eutrico, Litosol, Luvisol órtico, Regosol eutrico, Castañozem háplico, Regosol clacárico, Cambisol húmico, Cambisol crómico, Luvisol férrico, y Fluvisol eutrico.

3. Agroecosistemas representativos

Asumimos el concepto de agroecosistema al que se han referido muchos autores en los últimos 30 años y que ha sido bien caracterizado por Gliessman (2007), basándose en principios ecológicos y en el que se pueden identificar los componentes de estructura y función así como sus correspondientes relaciones. Este término pues es asumible en todo nuestro trabajo y, aunque no sea objeto del mismo el estudio de los agroecosistemas como tal, su marco conceptual nos sirve de referencia en el mismo.

En los sistemas agrícolas el tipo y la abundancia de la biodiversidad edáfica dependerá del tipo, edad, estructura y manejo del cultivo. En general, el grado de biodiversidad depende de cuatro características: la diversidad de vegetación dentro de un mismo rancho o finca agrícola y alrededor del sistema agrícola, la permanencia de varios cultivos dentro de él, la intensidad de manejo y el grado de aislamiento del agroecosistema de la vegetación natural. De acuerdo al papel que desempeñan en el funcionamiento de los sistemas cultivados, los componentes de la biodiversidad pueden ser agrupados en tres grupos: biota productiva que incluye a los cultivos, árboles y animales seleccionados por los granjeros, biota de recursos que comprende a los organismos que contribuyen a la producción a través de la polinización, control biológico, descomposición, etc. y biota destructiva como malezas, plagas de insectos, patógenos microbianos que reducen la productividad del cultivo (Altieri, 1999).

Con base en la información de Uso del Suelo y Vegetación Serie III del Instituto Nacional de Estadística y Geografía elaborada en el año 2005, observamos que prácticamente el 43 % de la superficie del Estado de Aguascalientes se dedica a la agricultura; de este porcentaje, el 21 % corresponde a la agricultura de temporal (es decir, sujeta a la época de las lluvias) y el 22% a la agricultura de riego. En las tablas 1 y 2 se desglosan los tipos de cultivo. Como puede observarse en la primera, la superficie dedicada al cultivo de la alfalfa y maíz forrajero, son las más importantes.

Tabla 1. Superficie sembrada y cosechada (hectáreas) y volumen de producción agrícola (toneladas) por tipo de cultivo y principales cultivos. (Año agrícola 2007)

Tipo Cultivo	Sup. sembrada	Sup. cosechada	Producción
CULTIVOS PERENNES	30897	19369	t
Alfalfa	6897	6897	640338
Guayaba	6862	6243	71010
Uva	914	861	13492
Durazno	425	348	3204
Pastos	6405	1755	73936
Resto de los cultivos perennes	9394	3265	NA
CULTIVOS CÍCLICOS	125979	79599	NA
Maíz forrajero	52581	42394.5	954910
Maíz grano	49510	21298	47305
Ajo	381	381	4714
Chile	874	859	8736
Lechuga	658	657	24424
Avena forrajera	5200	4404	96507
Brócoli	482	482	6442
Jitomate	343	325	8423
Pastos	1301	1301	71993
Col (Repollo)	277	277	11109
Resto de los cultivos cíclicos	14372	7220.5	NA
Total	156876	98968	NA

En la Sierra Madre Occidental existen también áreas de temporal que son también de riego; se trata de pequeñas zonas y no son delimitables. Se encuentran también áreas de riego en lomeríos asociados con cañadas, en la superficie de meseta pequeña y el piso amplio de valle con lomeríos, cuyo principal cultivo es el guayabo. La agricultura de temporal se presenta en superficies de meseta pequeña en las sierras alta con meseta, en el piso amplio de valle y en el piso amplio de valle con lomerío. Los cultivos predominantes en esta área son calabaza, frijol y maíz.

En la Mesa Central se llevan a cabo cuatro tipos diferentes de producción agrícola: dos de riego y dos de temporal. Con riego se localiza en el llano del piso rocoso y en los lomeríos muy suaves con valles, cultivando vid, maíz frijol, chile,

durazno (melocotones), alfalfa, trigo, avena, cebada, papa (patata) y sorgo. La segunda variante se localiza en los mismos sistemas y bajo las mismas condiciones edáficas; pero se obtiene el agua para riego de pequeñas presas de almacenamiento y de algunos pozos. Se cultiva maíz, frijol, chile, durazno, alfalfa, avena forrajera, cebada forrajera y algunas hortalizas.

Tabla 2. Superficie sembrada y cosechada de los cultivos cíclicos (hectáreas) por ciclo agrícola y principales cultivos según disponibilidad de agua (Año agrícola 2007)

Ciclo cultivo	Superficie sembrada			Superficie cosechada		
	Total	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal
Total	125979	31553	94426	79599	31385	48214
Otoño-invierno	6826	6826	0	6826	6826	0
Ajo	381	381	0	381	381	0
Avena forraje	3578	3578	0	3578	3578	0
Lechuga	364	364	0	364	364	0
Col (Repollo)	206	206	0	206	206	0
Brócoli	214	214	0	214	214	0
Jitomate	14	14	0	14	14	0
Resto cultivos	768	768	0	768	768	0
Prim-verano	119153	24727	94426	72773	24559	48214

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera-Herrera, N.; Hernández-Silva, G y Vallejo-Giménez, E. 1979. Estudio edafológico del distrito de riego 04, estados de Coahuila y Nuevo León. *Univ. Nal Autom.México, Inst. Geol. Revista 3 (1): 59-80*
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), IMAE (Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes) y UAA (Universidad Autónoma de Aguascalientes). 2008. *La Biodiversidad en Aguascalientes: Estudio de Estado*. 2008.
- García E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática del Köppen*. 4ª. ed. México. D.F. 217 pp.

Gleissman, S. R. 2007. *Agroecology. The Ecology of Sustainable Food Systems*. Ed. CRP Press, New Cork. 408 pp.

Guerrero, E. E. 2007. La Cartografía de Suelos en México esc.1:250.000. *Libro de Resúmenes XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, León Guanajuato, México, 17-21 sep 2007*

SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1981. *Síntesis Geográfica de Aguascalientes*. Ed. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México.

INEGI, 2009.

<http://www.inegi.org.mx>

http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/int/nav/aee/08/ags/c01_11.xls

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/estados/Capitales.cfm?s=geo&c=933>

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS SOBRE
LOS ARTRÓPODOS DEL SUELO



SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS SOBRE LOS ARTRÓPODOS DEL SUELO

RESUMEN

El trabajo trata de la sistematización de los conocimientos relacionados con los artrópodos edáficos. Está basado íntegramente en el estudio bibliográfico y ha sido dividido para su exposición en los siguientes ejes: a) la fauna edáfica; b) terminologías empleadas en las referencias a los artrópodos de suelos; c) las interacciones ecológicas en el suelo y en especial de los microartrópodos; d) los invertebrados edáficos como bioindicadores de suelos degradados; e) estudios de la fauna edáfica en México. Se concluye acerca de cómo todos los trabajos mencionan la importancia de los artrópodos edáficos a pesar de los escasos conocimientos que se tienen de estos organismos debido a las dificultades de su identificación e implicación en complejas redes tróficas.

Palabras clave: microecología, invertebrados, mesofauna y macrofauna edáficas

ABSTRACT

This work is a systematization about the knowledge of edaphic arthropods, based in bibliographic research, exclusively. The work is divided in five axis: a) edaphic fauna; b) technical terms for soil arthropods; c) ecological interactions, between soil and microarthropods, specially; d) edaphic invertebrates as bioindicator of degraded soil; e) studies of the Mexican edaphic fauna. Although scarce knowledge of edaphic arthropods due to identification difficulties also they are implicated in several trophic webs. All the authors concluded the ecological importance of this group.

Key words: microecology, invertebrates, edaphic mesofauna and macro fauna.

INTRODUCCIÓN

Así como los nemátodos del suelo han sido ampliamente estudiados, especialmente en relación a los grupos tróficos en sistemas agrícolas y de pasto (Hernández, 1985; Urcelai et al., 2001), es poco frecuente encontrar estudios ecológicos

relativos a los artrópodos del suelo. No obstante, nos proponemos en este trabajo realizar una puesta a punto (“estado del arte”) de esta temática.

MATERIAL Y MÉTODOS

Todas las citas bibliográficas son las fuentes documentales que se han tenido en cuenta para la elaboración del trabajo. Además se incluye una secuencia fotográfica de las técnicas de muestreos en campo utilizadas por nosotros para la recolección de los artrópodos así como para su determinación en el laboratorio, que son las comúnmente referidas en los trabajos citados (Figuras 1, 2 y 3). La ordenación de estas figuras, así las correspondientes a la 4, 5, 6 y 7, pueden ser consideradas como los pasos metodológicos necesarios para cualquier estudio acerca de los artrópodos edáficos.

Figura 1. Toma de muestras de artrópodos



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) La fauna edáfica

El suelo es un hábitat que permite el establecimiento de comunidades bióticas las cuales están determinadas por las características edáficas tales como el tamaño y agregados de partículas, es decir su textura y su estructura, además de la humedad, iones disueltos, concentración de O₂ y contenido de materia orgánica.

Figura 2. La toma de muestras también puede realizarse mediante monolitos de suelo extraídos con sonda a 0-10 cm de profundidad y en el laboratorio se ponen en los embudos de Berlese-Tullgren que son expuestos a una fuente de luz durante cinco días y por fototropismo negativo se recolectan los artrópodos en frascos con alcohol al 70% colocados al final de los embudos (Griffiths, 1996)



El suelo no sólo es un subsistema clave en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Hernández, 1985), sino que puede ser considerado también como un ecosistema. Contiene algunas de las comunidades más ricas en especies que se conocen, y puede albergar más de mil especies en poblaciones que pueden alcanzar 1 ó 2 millones de individuos por m^2 . En este sistema se llevan a cabo dos procesos vitales, como son la descomposición de la materia orgánica y la renovación de nutrientes, ligados precisamente a los organismos que viven en este medio. Estos procesos son controlados principalmente por la actividad biológica, la cual depende en última instancia de la temperatura y la humedad del suelo (Fragoso, et al. 2001). Pero solo

cerca del 10 % de las especies del suelo han sido identificadas. Su conocimiento está limitado por nuestra capacidad para extraer eficientemente los organismos del suelo, así como por la capacidad de identificar los estadios juveniles. (Neher D. A., 1999). Ello implica que muchos grupos de esas especies están poco estudiados tanto a nivel taxonómico como en relación a otros aspectos de su biología e historia natural (Coleman *et al.*, 2004).

Uno de los principales componentes de la estructura del subsistema edáfico en ecosistemas terrestres está conformado por organismos heterótrofos, formados por dos grandes grupos: la microflora integrada por bacterias y hongos que participan básicamente en la cadena del detritus, y los animales que participan en la cadena de los forrajeros y casi siempre de manera muy frecuente también en la del detritus. Los animales del suelo son numerosos y diversos e incluyen representantes de todos los phyla terrestres.

Figura 3



La fauna del suelo está integrada principalmente por invertebrados que representan aproximadamente el 15% de la biomasa del suelo (Eijsackers, 1994), siendo los nemátodos, anélidos y artrópodos los grupos más importantes. De acuerdo al tamaño de estos organismos se clasifican como microfauna (10-200 μm): los

protozoarios y algunos nemátodos pertenecen a esta categoría; mesofauna (2-20 mm) entre los que se encuentran ácaros, colémbolos, nemátodos y algunas larvas de dípteros y coleópteros; y la macrofauna (20-200 mm) con coleópteros, larvas de dípteros, quilópodos, diplópodos, isópodos, anélidos y gasterópodos (Eisenbeis & Wichard, 1987).

No toda la fauna del suelo habita en el mismo estrato. Así, un porcentaje importante de la mesofauna vive en las capas medias e inferiores del horizonte orgánico (A), entre 0-10 cm generalmente en suelos de ambientes semiáridos, mientras que una porción considerable de la macrofauna vive en la parte superior o sobre la superficie del suelo, No obstante, existen representantes de la macrofauna que viven dentro del suelo, como los anélidos y ciertos artrópodos. No obstante, se encuentran organismos de la mesofauna en la superficie, así como ciertas especies habitan diferentes tramos del perfil edáfico en las diferentes etapas de su ciclo de vida, como es el caso de algunos coleópteros. Coleman *et al.*, (2004), distinguióse cuatro tipos de animales de acuerdo al grado de presencia (temporalidad) en el suelo: transitorios, temporales, periódicos y permanentes

b) Terminologías empleadas en las referencias sobre artrópodos edáficos. microecología, micro y macroartrópodos, animales criptozoicos

Por microecología se entiende el estudio de los ambientes y hábitats de pequeña escala, tales como grietas del suelo o la capa de hojarasca del mismo (Cloudsley-Thompson, 1974). Por ello se utiliza también el término de microhábitat, que puede definirse como una entidad autónoma que refleja en miniatura el equilibrio biológico de los seres vivos en general. Por consiguiente, para el citado autor, el estudio de la microecología es valioso.

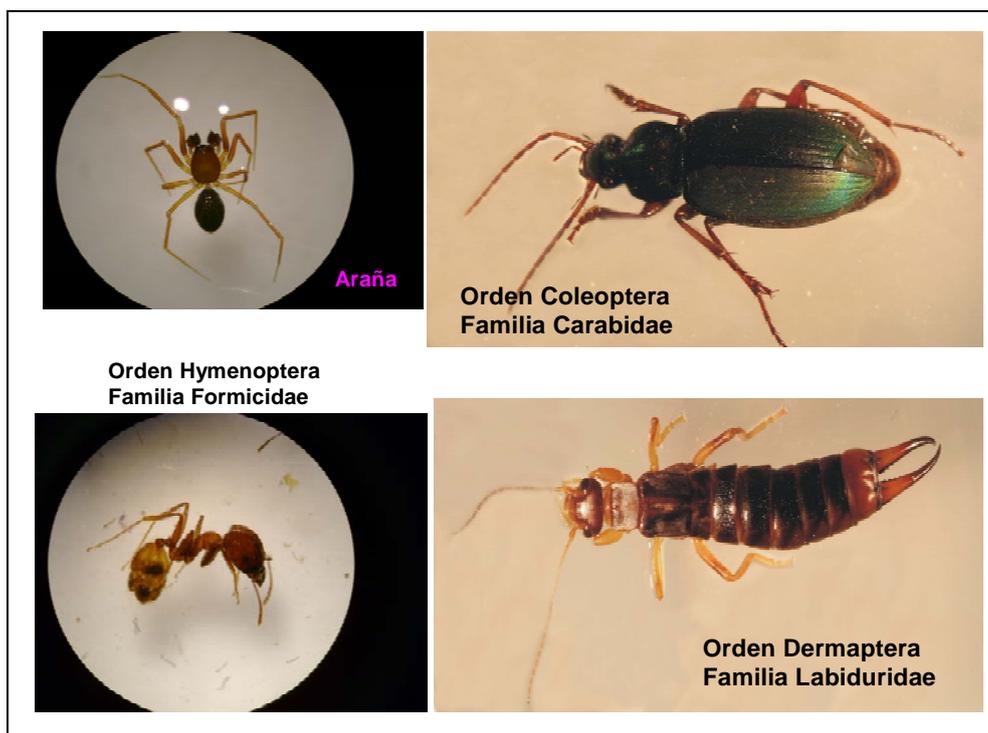
En la actualidad, lo más frecuente es referirse a los macroartrópodos (correspondientes a isópodos, chilópodos, escorpiones, arácnidos, coleópteros, himenópteros y dípteros) y a los microartrópodos (colémbolos y ácaros mayoritariamente y en menor proporción insectos primitivos como los agrupados en los ordenes Protura y Diplura, además de paurópodos y enchytreidos).Figura 3. Fotografías obtenidas con estereomicroscopio y con microscopio electrónico de barrido

En las figuras 5 y 6 pueden observarse algunos de estos últimos invertebrados mencionados, así como diferentes características de los mismos que constituyen caracteres taxonómicos clave. Puede deducirse el tiempo que se ha de emplear

aplicando técnicas tan minuciosas para poder evaluar los parámetros ecológicos, tales como densidad de población, abundancia o biodiversidad.

Los microartrópodos son los grupos más importantes en los suelos y agrupan formas clave para las redes tróficas del sistema edáfico. Así, algunos de ellos son comedores de hongos y de nematodos, participando en las relaciones entre la microfauna y la macrofauna del suelo (Coleman et al, 2004). En la revisión de esta temática que se hace en la obra de los autores que acabamos de citar, se dice también que es conocido cómo las densidades de sus poblaciones varían durante las estaciones del año. Realmente esto es una característica común a las poblaciones que constituyen la fauna edáfica, como habíamos aludido en el epígrafe anterior.

Figura 4. Ejemplares de macroartrópodos edáficos recogidos por nosotros en agroecosistemas del estado de Aguascalientes (México). Las fotografías sobre círculo han sido tomadas directamente con la cámara sobre el ocular del microscopio estereoscópico y las rectangulares proceden de la cámara incorporada a un microscopio estereoscópico.



También en la amplia revisión de las poblaciones de microartrópodos realizada por Andrés et al. (2002), se dice que solamente el 10% de las especies de este grupo han sido descritas. Por eso, afirman Coleman et al. (2004), la contribución de estos

invertebrados a la biodiversidad global del suelo, es un enigma, aunque se sigue hablando en mucha de la literatura de la temática que nos ocupa, de cómo los macroartrópodos constituyen una mayor reserva de biodiversidad en el suelo. No obstante, al igual que ocurre con la correspondiente a los ácaros y los colémbolos, el significado funcional de este atributo ecológico (la biodiversidad) no es evidente.

Por otra parte, algunos de los macroartrópodos son miembros del grupo conocido como “criptozoos”. Como su nombre indica, los animales criptozoicos son aquellos que llevan vidas ocultas, por eso, casi todos los animales que habitan en los microhábitats edáficos son de este estilo. Sin embargo, a excepción de los Protozoos que no son incluidos en este grupo de organismos, la mayoría de ellos se pueden ver a simple vista aunque se necesite un microscopio estereoscópico para observar sus detalles anatómicos, (figura 5) En este caso, algunos macroartrópodos podrían incluirse entre los animales criptozoicos. Todos ellos tienen tanto ritmos diurnos como estacionales que hacen variar tanto sus densidades de población como sus actividades y distribución en el perfil edáfico. Para apreciar el significado de este hecho, es necesario primeramente investigar las cadenas alimenticias involucradas. Así, por ejemplo, el amplio número de colémbolos en la superficie del suelo puede proporcionar alimento a un pequeño número de insectos depredadores, tales como escarabajos y sus larvas, arañas, ciempiés etc., los cuales son comidos a su vez, por otros animales de mayor tamaño como lagartos o aves.

Figura 5. Animal criptozoico típico recogido por nosotros, cochinilla (Isopoda)



La fauna criptozoa está pobremente definida, por lo que esta terminología no es comúnmente utilizada en ecología de comunidades. Sin embargo, Coleman et al. (2004), consideran que son un componente significativo de los ecosistemas edáficos y de sus cadenas tróficas.

c) Las interacciones ecológicas en el suelo y en especial de los microartrópodos

Los artrópodos edáficos forman parte de las cadenas y redes tróficas que varían en complejidad, de acuerdo a las condiciones abióticas y bióticas del suelo, así como a las variaciones climáticas, estado de desarrollo y grado de alteración del ecosistema. Las cadenas y redes tróficas del suelo son complejas, ya que existen relaciones entre los subsistemas epigeo (con los vegetales) y el por debajo de la superficie, con lo que se tienen diferentes escalas espaciales, así como diversas interacciones entre la microflora y la fauna edáfica: depredación, mutualismo, simbiosis, (Wardle, 2002).

Aunque algunos artrópodos del suelo participan en la cadena de los forrajeros, la mayor parte de ellos pertenecen a la cadena del detritus y están involucrados en muchos aspectos de la descomposición de la materia orgánica, en la regulación de las actividades microbianas, parcialmente en los ciclos nutritivos y en la estructura desintegradora. Dependiendo de sus hábitos alimenticios se clasifican en macrofitófagos, microfitófagos, saprofitófagos, zoófagos, coprófagos (Eisenbeis & Wichard, 1987).

La fauna del suelo está estrechamente ligada con los microorganismos y las plantas. Así, Paoletti *et al.* (1994) precisan las funciones de la fauna del suelo de acuerdo al tamaño de los organismos considerando que la microfauna (protozoarios, ácaros y colémbolos) regulan poblaciones bacterianas y de hongos, participan en el reciclamiento de nutrientes y afectan la estructura de agregados a través de la interacción con la microflora; los componentes de la mesofauna (ácaros, colémbolos, enquitraeidos) regulan las poblaciones fúngicas; la microfauna, interviene en la mineralización de compuestos químicos, fragmentan residuos vegetales, producen bolitas fecales, crean bioporos y promueven la humificación. También la macrofauna (isópodos, centípedos, milípedos, lombrices, etc.) fragmentan residuos vegetales, estimulan la actividad microbiana, mezclan las partículas orgánicas y minerales, redistribuyen la materia orgánica y los microorganismos, creando bioporos, promoviendo la humificación.

Bünemann *et al.* (2006) expresan que la fauna del suelo es crucial para iniciar el proceso mecánico de la desintegración de las partículas y el mezclado de los residuos

en el suelo, así como de la distribución de los nutrientes de la biomasa microbiana la cual es regulada por el forrajeo de la fauna del suelo

Figura 6. Ejemplar de colémbolo presente en los agroecosistemas estudiados por nosotros. Puede observarse un detalle de la fúrcula, carácter muy desarrollado en los organismos de la familia Entomobryomorpha, colémbolos muy desarrollados en al capa superficial del suelo

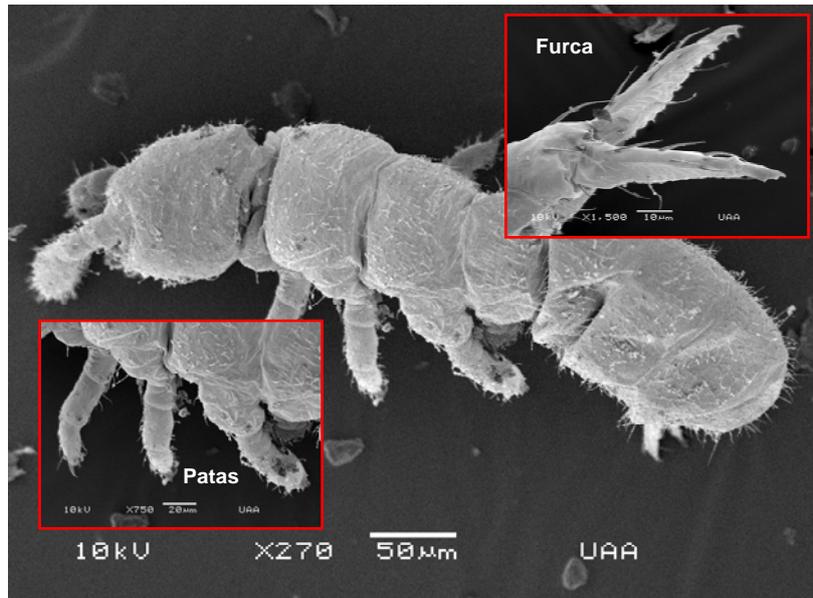
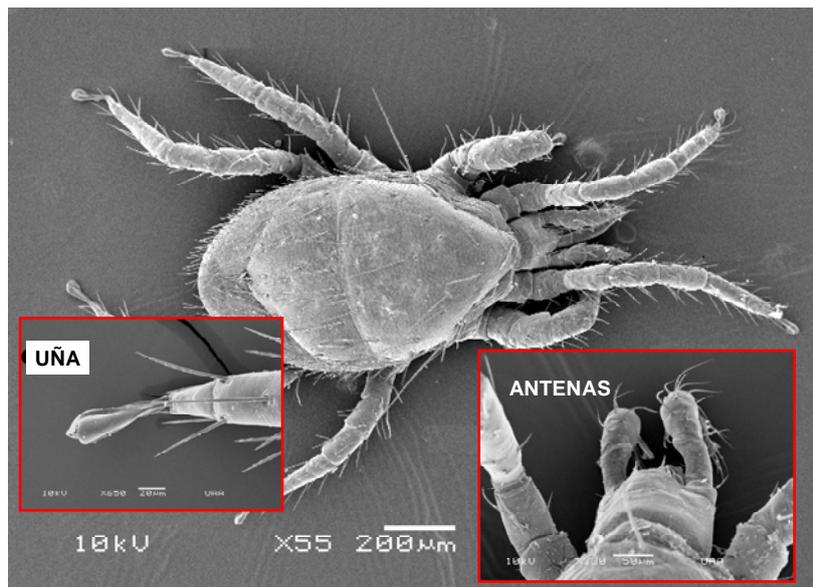


Figura 7. Ejemplar de ácaro. (La fotografía de este ejemplar y la del colémbolo mostrada en la parte superior, han sido obtenidas con el microscopio electrónico de barrido)



Teniendo en cuenta el suelo como ecosistema, su funcionamiento lógicamente está controlado por los factores abióticos y bióticos. Pero estos últimos pueden variar

mucho debido a las fluctuaciones de las poblaciones de la microflora y de la microfauna, lo que se traduce en una gran variación metabólica, implicando aún más las dificultades de estudio de los artrópodos edáficos. Por otra parte, la presencia de contaminantes en el suelo también influye tanto en su funcionamiento como en la estructura de las comunidades edáficas, con lo que incide tanto en la salud del ecosistema edáfico como de aquellos en los que se ubican en los suelos contaminados (Hernández et al., 2008)

Las investigaciones sobre la fauna edáfica se han llevado a cabo tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas. Los bosques templados han sido los escenarios más habituales para el estudio de las comunidades de artrópodos en suelo. Estudios sobre la estructura y el funcionamiento de las mismas han sido realizados por investigadores como Wolters (2001), quien discute las diferentes hipótesis sobre la diversidad de la fauna del suelo y su importancia en el funcionamiento del sistema. El efecto de las prácticas agrícolas sobre la biodiversidad de microartrópodos en sistemas agrícolas ha sido estudiado por Coleman *et al.* (2002), Cortet *et al.* (2002 a), Bedano *et al.* (2006) y Gormsen *et al.* (2006). Por su parte, Parisi *et al.* (2005) han desarrollado un índice de calidad biológica del suelo (QBS) basado en grupos de microartrópodos presentes en el suelo.

El papel de la microfauna en el flujo de nutrientes en tanto en bosques como en sistemas agrarios, ha sido estudiado mediante experimentos en campo como en ambientes controlados (microcosmos) por varios ecólogos, Anderson *et al.* (1985); Hendrix *et al.* (1986); Hasewaga, 2001, entre otros.

d) Los invertebrados edáficos como bioindicadores de suelos degradados

Uno de los objetivos que durante mucho tiempo ha venido estimulando a muchos ecólogos, ha sido el de contar con indicadores biológicos que caractericen las condiciones de ecosistemas naturales y modificados por la acción humana. Por lo que se refiere al subsistema suelo se han encontrado ciertos grupos de la microfauna, mesofauna y macrofauna que han sido indicados como bioindicadores de alguna de sus características. Entre ellos se encuentran escarabajos estafilínidos (Bohac, 1999), hormigas (Lobby de Bruyn, 1999), dípteros (Frouz, 1999), colémbolos y lombrices de tierra (Cortet *et al.*, 2002 a). El trabajo sobre nemátodos del suelo en relación a índices concretos que indican degradación de los suelos (por el diferente tipo de usos de los mismos) de Urceli et al. (2000) resulta sumamente interesante al respecto.

Como consecuencia de actividades agrícolas e industriales, el número de estudios sobre los efectos en la estructura y función de la fauna edáfica, resulta en la actualidad abundante. Así pueden ser citados también los trabajos realizados por Gräff *et al.* (1997) sobre la acumulación de metales, y también con ese perfil, los de Lock & Janssen (2001) y de Fountain & Hopkin (2004) sobre los efectos de los metales pesados. Andrés (1999), estudió los riesgos ecológicos por el uso de lodos residuales en poblaciones de microartrópodos, mientras que Cortet *et al.* (2002 b) estudiaron los efectos de los pesticidas sobre la mineralización de la materia orgánica y los microartrópodos.

e) Estudios de la fauna edáfica en México

En México, aunque existen algunos trabajos sobre la fauna del suelo, la mayoría han sido de carácter taxonómico y, en general, pocos son los grupos de artrópodos edáficos que han sido estudiados (Fragoso *et al.*, 2001). La información de carácter más ecológico también es escasa, está referida a algunos grupos de insectos y abundan algo más los trabajos sobre los coleópteros, himenópteros, oligoquetos, ácaros, y colémbolos. Los dos grupos últimos han sido estudiados básicamente tanto en suelos de bosque y en climas de carácter más húmedo que el correspondiente a Aguascalientes (Prieto-Trueba *et al.*, 1999; Palacios Vargas, 2000; Mejía-Recanier & Castaño-Meneses, 2007; Qutz-Pool *et al.*, 2008). Como ocurre con otras poblaciones, tanto de invertebrados como de plantas vasculares herbáceas, en los emplazamientos con suelos perturbados existe mayor abundancia y biomasa de alguna población concreta de los artrópodos, pero menor diversidad, estando la comunidad dominada por unas cuantas especies. En relación a los artrópodos de suelos de agroecosistemas, podemos mencionar el estudio sobre colémbolos en sistemas de alfalfa (Qutz-Pool *et al.*, 2007), y el de Flores-Padarvé *et al.* (2008 y 2009), en los que se han estimado parámetros ecológicos como la diversidad, hábitos alimenticios y relaciones con los parámetros edáficos y climáticos.

El trabajo realizado por Rojas (2001) sobre la mirmecofauna mexicana (hormigas), señala la existencia de 407 especies descritas para el país, siendo la subfamilia Myrmecinae la mejor representada con el 53% de las especies y la dominante en las áreas tropicales, mientras que la subfamilia Formicinae domina las áreas templadas. El gremio trófico dominante es el de las omnívoras con el 44% de las especies, las depredadoras ocupan el segundo lugar con el 31%. En los sitios perturbados existe mayor abundancia y biomasa pero menor diversidad y la comunidad está dominada por unas cuantas especies. También resalta que el papel de las hormigas

en los agroecosistemas ha sido poco estudiado a pesar de los posibles efectos benéficos de algunas especies consideradas como plagas en la descompactación del suelo, el enriquecimiento de nutrientes, la retención del agua, entre otros, y que deberían ser aprovechados en los sistemas agrícolas.

La importancia ecológica de las larvas de escarabajos es discutida en el trabajo de Morón (2001), en el cual hace referencia a la existencia en México de al menos 870 especies de larvas de *Melolonthidae edafícolas*, encontrándose la mayor diversidad en los suelos del sur del país. Por último, decir que el grupo trófico dominante es el de los omnívoros, con el 44% de las especies y las especies depredadoras ocupan el segundo lugar, con el 31%.

Con respecto a la macrofauna del suelo, integrada por lombrices de tierra, termites, hormigas, milpiés, ciempiés, escarabajos, grillos, hormigas, arañas, escorpiones, chinches y larvas de moscas y de mariposas, Brown *et al.* (2001), realizaron un estudio en nueve ecosistemas del este y sureste del país mexicano, señalando que las lombrices fueron las que mostraron la mayor biomasa, mientras que las hormigas fueron las más abundantes en cuanto a su densidad. Las milpas (cultivos de maíz) y el cocotal (palmas cocoteras), presentaron la menor biomasa ($<15 \text{ g/m}^2$), en suelos de bosque se habla de una biomasa de 25 g/m^2 , y en los demás ecosistemas, de 35 g/m^2 . El desmonte de ecosistemas de bosque tropical húmedo (desmonte de extensiones de selva), tuvo un efecto negativo en los artrópodos epigeos, mientras que la implantación de pastizales, aumenta la biomasa de las lombrices.

Los oligoquetos también han sido estudiados; en México han sido contabilizadas 129 especies, 82 nativas y 47 exóticas. La mayor cantidad de las mismas se encuentran en ambientes naturales (106). Las especies exóticas predominan en ambientes perturbados. Se han realizado estudios en cerca de 30 localidades mexicanas y las mayores abundancias de estos invertebrados se encuentran en los suelos de las selvas ubicadas en altitudes altas, mientras que ellos son muy pobres en suelos agrícolas (Fragoso, 2001).

Varios zoólogos mexicanos destacan la necesidad de incrementar los estudios acerca de la fauna del suelo para conocer la biodiversidad en localidades representativas del país a fin de que permitan evaluar la conservación de los suelos y el manejo de las especies nocivas.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se puede concluir que la fauna edáfica del suelo a pesar de ser una de las comunidades más ricas en especies y muy importante en procesos del suelo como la descomposición de materia orgánica y renovación de nutrientes ha sido poco estudiada, debido a la dificultad para extraerlos e identificarlos es limitada. Sin embargo, se han realizado varios trabajos tanto en ecosistemas naturales como en agroecosistemas, pero debido a la complejidad de las cadenas y redes tróficas del suelo, la mayoría de ellos se ha centrado en un grupo o una población en particular. En México, la mayoría de los trabajos realizados se han enfocado al estudio taxonómico de unos pocos grupos de artrópodos edáficos y los estudios ecológicos son pocos y enfocados a un grupo en particular. Por lo que se creó conveniente realizar más estudios sobre la fauna del suelo para conocer la biodiversidad, cadenas y redes tróficas, así como el papel ecológico que juegan en los diferentes ecosistemas y contar con indicadores biológicos que caractericen las condiciones de los ecosistemas.

Agradecimientos: al Programa EIADES “Evaluación de impacto ambiental y recuperación del medio natural en emplazamientos contaminados” financiado por la Comunidad de Madrid (España), y a los Proyectos PIT 04-1 “Estudio de las características de los residuos sólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Aguascalientes y su impacto en el ambiente” y Proyecto 07-1 “Estudio del impacto de los biosólidos sobre los artrópodos edáficos y la biota acuática” financiados por la Universidad Autónoma de Aguascalientes (México)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrés, P. 1999. Ecological risks of the use of sewage sludge as fertilizer in soil restoration: effects on the soil microarthropod populations. *Land Degradation and Development*, 10: 67-77.
- Anderson, J.M., S.A. Huish, P. Ineson, M.A. Leonard & P.R. Splatt. 1985. Interactions of invertebrates, micro-organisms and tree roots in nitrogen and mineral element fluxes in deciduous woodlands soils. In *Ecological Interactions in Soil*. Fitter, A.H. (ed). Ed. Blackwell Scientific Publications.: 377-392.
- Bohac, J. 1999. Staphylinid beetles as bioindicators. Agriculture. *Ecosystems and Environment*, 74: 357-372.

- Bünemann, E.K., G.D. Schwenkes & L. Van Zwieten. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms. *Australian Journal of Soil Research*, 44: 379-406
- Castaño-Meneses, G., J.G. Palacios-Vargas & L.Q. Cutz-Pool. 2004. *Feeding habits of collembola and their ecological niche. Anales del Instituto de Biología Serie Zoología*, 75: 135-142.
- Coleman, D., S. Fu, P. Hendrix & D. Crossley Jr. 2002. Soil foodwebs in agroecosystems: impacts of herbivory and tillage management. *European Journal of Soil Biology*, 38:21-28.
- Coleman, D.C., D.A. Crossley, Jr. & P.F. Hendrix. 2004. *Fundamentals of Ecology* 2nd ed. Elsevier, Burlington, Ma. 386 p.
- Cloudsley-Thompson, J. L. 1974. *Microecología*. Ed. Omega. 54 pp.
- Cortet, J., D. Ronce, N. Poinso-Balaguer, C. Beaufreton, A. Chabert, P. Viaux & J.P. Cancela de Fonseca. 2002a. Impacts of different practices on the biodiversity of microarthropod communities in arable crops systems. *European Journal of Soil Biology*, 38: 239-244.
- Cortet, J., D. Gillon, R. Joffre, J. Ourcival & N. Poinso-Balaguer. 2002 b. Effects of pesticides on organic matter recycling and microarthropods in a maize field: use and discussion of the litterbag methodology. *European Journal of Soil Biology*, 38: 261-265.
- Cutz-Pool, L.Q., J.G. Palacios-Vargas, G. Castaño-Meneses & N.E. García Calderón. 2007. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, Mexico. *Applied Ecology*, 36: 46-52.
- Eijsackers, H. 1994. Ecotoxicology of soil organisms: seeking the way in a pitch-dark labyrinth. In *M.H. Donker, H. Eijsackers and F. Heimbach (eds) Ecotoxicology of soil organisms*. Lewis Publishers. Boca Raton: 3-32.
- Eisenbeis, G. and W. Wichard. 1987. *Atlas on the biology of soil arthropods*. Springer Verlag. Berlin. 437 pp
- Fountain, M.T. & S.P. Hopkin. 2004. A comparative study of the effects of metal contamination on Collembola in the field and in the laboratory. *Ecotoxicology*, 13:573-587.

- Fragoso, C. 2001. Las lombrices de tierra de México (*Annelida, Oligochaeta*): diversidad, ecología y manejo. *Acta Zoológica Mexicana*, (n.s.) Número especial 1: 131-171.
- Fragoso, C., P. Reyes-Castillo & P. Rojas. 2001. La importancia de la fauna edáfica en México. *Acta Zoológica Mexicana*, (n.s.) Número especial 1: 1-10.
- Frouz, J. 1999. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 167-186.
- Gormsen, D., K. Hedlund & W. Huifu. 2006. Diversity of soil mite communities when managing plant communities on set-aside arable land. *Applied Soil Ecology*, 31: 147-158.
- Gräff, S., M. Berkus, G. Alberti & H.R. Köhler. 1997. Metal accumulation strategies in saprophagous and phytophagous soil invertebrates: a quantitative comparison. *Biometals*, 10:45-53.
- Hasegawa, M. 2001. *The relationship between the organic matter composition of a forest floor and the structure of a soil arthropod community*. *European Journal of Soil Biology*, 37:281-284.
- Hendrix, P. F., R. W. Parmelee, D.A. Crossley, Jr, D.C. Coleman, E.P. Odum & P. Groffman. 1986. Detritus Food Webs in Conventional and No-tillage Agroecosystems. *Bioscience*, 36:374-380.
- Hernández, A. J. 1985. *Significado ecológico de los componentes edáfico, radicular y nematológico en pastizales oligotrofos luso-estremadurenses*. Tesis doctoral Universidad Autónoma de Madrid.
- Hernández, A. J.; Pastor, J.; Alexis, S.; Vizcayno, C. 2008. Impact of geochemistry on health: an approach based on case studies of tropical ecosystems in the Dominican Republic. [http// e-terra.gepor.pt](http://e-terra.gepor.pt), 5:1-15.
- Lobry de Bruyn, L.A. 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 425-441
- Mejía-Recarnier, B.E. & G. Castaño-Meneses. 2007. Estructura de la comunidad de cunáxidos (Acarina) edáficos de una selva baja caducifolia en Chamela, México. *Revista de Biología Tropical*, 55 (3-4): 911-930.

- Morón, M.A. 2001. Larvas de escarabajos del suelo (Coleoptera:Melolonthidae). *Acta Zoológica Mexicana*, (n,s.) Número especial 1: 111-130.
- Neher, D. A. 1999. Soil community composition and ecosystem processes. *Agroforestry Systems*, 45: 159-185.
- Palacios-Vargas, J.G. 2000. Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas*, 29: 12-14.
- Paoletti, M. G., W. Foissner and D. Coleman (Eds). 1994. *Soil biota nutrient cycling and farming systems*. Lewis Publishers. Boca Raton. 314 pp.
- Parisi, V., C. Menta, Ciro Gardi, C. Jacomini & E. Mozzanica. 2005. Micro arthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 105: 323-333.
- Prieto-Trueba,D.;Vázquez-González,M.M.;Rodríguez-Aragonés,C.1999. Comunidades de la mesofauna edáfica en una selva baja inundable de la Reserva de la Biosfera de Sian Kaan, Quintana Roo, México *Revista de Biología Tropical*, 44 (3): 489-492.
- Rojas, F. P. 2001. *Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae)*. *Acta Zoológica Mexicana*, (n,s.) nº especial 1: 198-238.
- Urcelai, A.; Hernández, A. J and Pastor, J. 2000.- Biotic indices based on soil nematode communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 247: 253- 261
- Wolters, V. 2001. Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, 37: 221-227.
- Wardle, D.A. 2002. *Communities and Ecosystems: Linking the aboveground and belowground components*. Princeton University Press Princeton, N.J. 400 p.

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS BIOSÓLIDOS
DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUASCALIENTES



Una parte de este trabajo ha sido publicado por Flores-Tena, F. J. y Flores-Pardarvé, L.; 2005 con el título “Los Biosólidos de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de la Ciudad de Aguascalientes: Características y Uso” en la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 33: 4-11.

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS BIOSÓLIDOS DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUASCALIENTES

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el estudio de la caracterización de los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes, para obtener la información básica que permita poder estudiar su aplicación a suelos agrícolas pobres en materia orgánica. Se han analizado siete muestras entre años diferentes. Se han determinado 18 parámetros químicos inorgánicos ligados a la fertilidad de los suelos, salinidad y metales pesados. Además se han determinado las concentraciones de compuestos orgánicos (grasas y aceites, compuestos orgánicos volátiles, detergentes y pesticidas), así como la densidad de microorganismos que se encuentran presentes y son de interés para la salud pública (coliformes fecales y sp. de *Salmonella* sp.). Se ha observado una gran variabilidad en los resultados de la composición obtenidos en cada muestreo. Sin embargo en ninguna ocasión los niveles han alcanzado los valores límites propuestos en la normativa mexicana para aplicar los biosólidos a suelos agrícolas.

Palabra clave: lodos residuales, residuos orgánicos

ABSTRACT

The goal of this work is the chemicals characterization of the biosólidos from the waste water treatment plant of Aguascalientes city, for to know fundamental information matter deficiency, found in Aguascalientes state, usually and for to know the potential risk in their use. Seven samples from three years were analyzed, 18 inorganic chemical parameters, linked to fertility soil, salinity and heavy metals. As well to determine the concentration of three organic compounds (oil and grease, volatile organic, detergent and pesticides), as well as the microorganism density present with importance for public health (fecal coliforms and *Salmonella* sp.). A great variability was observed for results of the composition of each sample. However, nivels never occasion to reach limit values suggest in mexican normative for biosolids application to agriculture soils.

Key words: sewage sludges, organic wastes

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Aguascalientes, capital del estado mexicano con este mismo nombre, cuenta con una planta tratadora de aguas residuales cuya producción de biosólidos es de 200 m³/día (Flores Tena & Flores Pardavé, 2005). En Europa, según Soler et al., (1999), el destino de los lodos de la depuradora en 2005 sería el depósito en un vertedero (17 millones de toneladas) o ser aplicados a la agricultura (45 millones de toneladas). No se tienen cifras relativas a las cantidades que son transferidas a la agricultura en el estado mexicano aludido, pero es creciente su uso en los diferentes ranchos del mismo, especialmente para el enriquecimiento de la fertilidad de agroecosistemas forrajeros. Hay una creciente implementación de estos residuos en diferentes territorios con cultivos agrícolas de México (Torres & Zárate, 1996; Cueto et al., 2005; Woo Reza et al., 2007); pero también se ha empezado a evaluar el potencial de usos de biosólidos en el suelo de matorral desértico del altiplano mexicano, con fines de incrementar la productividad de sus pastos (Potisek et al., 2006). Estas consideraciones nos han llevado a interesarnos en la caracterización de los lodos producidos en la planta de Aguascalientes encaminando hacia el conocimiento del riesgo potencial en su uso en este territorio que nos permita disponer de una información básica para estudios de impacto ambiental al realizarse a corto y mediano plazo.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el transcurso de tres años (2004, 2005 y 2008), se tomaron siete muestras de 10 Kg de biosólidos en peso húmedo; mediante una muestra media se seleccionaron 500 g para estimar el contenido de humedad, 100 g para estimar el contenido de grasas y aceites, 100 g para cuantificar el contenido de sustancias activas al azul de metileno (detergentes) y 200 g para realizar los estudios microbiológicos, la cantidad restante fue secada a temperatura ambiente a la sombra durante dos semanas. Una vez secos, los lodos fueron triturados para realizar en ellos los diferentes análisis químicos.

Las técnicas utilizadas para los análisis de los biosólidos relacionados con la fertilidad y salinidad del suelo fueron las señaladas por la Norma Oficial NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) y que se explicitan en la tabla 1. La materia orgánica se determinó mediante la técnica de Walkley y Black que consiste en la carbonización de los biosólidos sometiéndolos a 550 °C durante 20 minutos. Para

estimar los compuestos orgánicos volátiles, los biosólidos secos fueron sometidos durante una hora a 90 °C (AOAC, 1990).

Tabla 1. Técnicas utilizadas para el análisis químico de los biosólidos

Párametro	Método/Técnica
pH	Electrométrica
N inorgánico	Micro Kjeldahl
Fósforo intercambiable	Olsen
Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ y K ⁺ (Fe, Zn, Cu, Mn)	Acetato de amonio Extracción con DTPA
Boro total	Azometina-H
N total	Combustión de Dumas
Fósforo total	Reactivo Vanadomolibdico
Cationes solubles (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺) y Metales pesados	Espectrofotometría de absorción atómica.
Aniones solubles (HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻ y Cl ⁻)	Titulación volumétrica
SO ₄ ²⁻	Turbidimetría
Conductividad eléctrica	Conductímetro

Las grasas y aceites fueron extraídas con un equipo soxhlet, las sustancias activas al azul de metileno fueron estimadas mediante la extracción con cloroformo, previamente fueron extraídas de los biosólidos en forma de solución, (APHA, 1998).

Los análisis microbiológicos comprendieron la determinación, cuantificación e identificación de bacterias coliformes fecales y *Salmonella spp*, que son las de mayor interés en la salud pública tomando en cuenta las especificaciones de la Norma Oficial NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003). Las técnicas empleadas para coliformes fecales fueron las siguientes: NMP: prueba presuntiva: caldo lactosado y prueba confirmativa: medio E.C. y para *Salmonella spp*. NMP: caldo de tetracionato, caldo de selenito cistina agar bismuto de sulfito.

El análisis químico de los biosólidos se realizó por diferentes técnicas o métodos: el pH por la técnica electrométrica, el nitrógeno inorgánico por Micro Kjeldahl, el nitrógeno total por combustión de Dumas, el fósforo intercambiable por Olsen, cationes solubles (Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺) y metales pesados con el espectrofotómetro de absorción atómica; (Fe, Zn, Cu, Mn) por extracción con DTPA,

boro total con Azometina-H, fósforo total con reactivo vanadomolibdico, aniones solubles (HCO_3^- , CO_3^{2-} y Cl^-) por titulación volumétrica, (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) con acetato de amonio, SO_4^{2-} por turbidimetría y la conductividad eléctrica por la técnica electrométrica (conductímetro).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. El tratamiento de las aguas residuales en la planta de Aguascalientes

El tratamiento de las aguas residuales tanto municipales como industriales en términos generales es bajo en México. En el año 2000 estaban en operación 793 sistemas municipales con un gasto tratado de 45,9 m³/seg. A nivel nacional se trataron un promedio 39,8 litros diarios de agua residual por habitante, con grandes diferencias entre los estados, ya que Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Durango y Nuevo León, todos ellos localizados en la mitad norte del país y procesaron volúmenes por encima de 100 litros diarios por persona, mientras que Campeche, Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz, estados sureños, no llegaron a 10 litros por habitante.

Las entidades que procesan en mayor proporción el agua que suministran a su población son Nuevo León, Aguascalientes y Baja California (sur o norte), con una relación entre el agua tratada y la suministrada mayor al 40 %. La mayor parte del agua tratada en México recibe tratamiento secundario mediante lodos activados y lagunas de estabilización, procesos que tienen una eficiencia para la remoción de la DBO (demanda Bioquímica de Oxígeno) entre un 80 y 90% (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002).

La planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes entró en operación el años de 1996, depura 200.000 m³/día que se utiliza para el riego de las áreas verdes urbanas y también para riego agrícola de cultivos forrajeros en el área denominada Salto de los Salados, ubicada al suroeste de la Ciudad de Aguascalientes, como subproducto se generan 200 m³/ día de biosólidos que se disponen principalmente en campos agrícolas aledaños a la planta, sin embargo en un futuro inmediato tendrán que utilizarse en otras áreas.

El lodo resultante del proceso de la planta tratadora de aguas residuales, cuyo origen principal son las fuentes domésticas, es un subproducto que se genera inevitablemente. En México cuando estos lodos cumplen con la norma NOM-052-ECOL-1993 para poder clasificarlos como residuos no peligrosos y con NOM-004- de

la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de este país (SEMARNAT, 2002), que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, se consideran como biosólidos.

El tratamiento convencional para el manejo de aguas residuales municipales comprende distintas fases: un pretratamiento, que consiste en la eliminación de constituyentes grandes (madera, botellas, papel, etc.) de las aguas residuales; el tratamiento primario (físico y químico), que involucra operaciones de sedimentación por gravedad y flotación, que remueve aproximadamente la mitad de los materiales sólidos (orgánico e inorgánico) son arrastrados al fondo y retirados del proceso, constituyendo el lodo primario junto con el material sobrenadante (aceites, grasas y residuos vegetales).

El tratamiento secundario (biológico) lleva a cabo el proceso de reacción en donde las poblaciones microbianas utilizan la materia orgánica presente como fuente de carbono y energía para su crecimiento y supervivencia. El producto final de este tratamiento se denomina biosólido y está constituido con material predominantemente orgánico, aunque también contienen compuestos orgánicos que incluyen nutrientes para las plantas y elementos traza, además de organismos patógenos. Si se requiere de un agua más limpia será necesario realizar un tratamiento terciario que se lleva a cabo para obtener un efluente de alta calidad (Flores et al. 2005; Potisek et al. 2006)

La materia orgánica de los biosólidos junto con los nutrientes vegetales y varios elementos traza, que son necesarios para las plantas, hacen de este subproducto un recurso valioso para aplicarlo al suelo como fertilizante, mejorador de textura y estructura u otros usos específicos. La energía contenida en ellos puede ser recuperada, incluso las cenizas resultado de su incineración pueden ser reutilizadas. Debido al reconocido valor potencial de estos sólidos, el término biosólidos es usado como sinónimo de la utilidad de este producto proveniente de un desecho. Sin embargo, concentraciones altas de varios elementos traza, compuestos orgánicos tóxicos y los patógenos, pueden disminuir su uso benéfico.

2. Composición de sustancias inorgánicas

Las características de los lodos residuales de depuradora han sido recogidas en numerosos trabajos y, en general, se tiene siempre en cuenta las normativas relativas para su aplicación a suelos agrícolas disponibles en cada país. Se puede decir además

que las características físicas y químicas de los lodos varían considerablemente de ciudad a ciudad y de país a país, aunque algunas propiedades pueden ser semejantes en muchos de ellos.

Tabla 2. Valores de parámetros químicos de los biosólidos relacionados con la fertilidad de un suelo (mg/Kg)

PARÁMETRO		MEDIA y D.T.	MIN	MAX
pH		6,3 ± 0,15	6,17	6,47
Nitrógeno total (%)		2,81 ± 2,517	0,66	6,34
Nitrógeno inorgánico (mg/Kg)		0,96 ± 315,79	0,62	1,36
Nutrientes intercambiables				
Fósforo	mg/Kg	316,2 ± 238,28	18,8	396
Potasio	“	1815,0 ± 777,31	1.382	2.980
Calcio	“	5.105,5 ± 3.253,24	2.360	9.800
Magnesio	“	806,5 ± 379,63	370	1.280
Sodio	“	98,5 ± 26,90	78	136
Hierro	“	214,5 ± 73,30	206	350
Zinc	“	135,8 ± 112,87	108	311
Cobre	“	16,2 ± 11,40	12,2	34,3
Manganeso	“	89,6 ± 93,49	18	227
Boro	“	74,8 ± 55,17	5,6	140
Elementos totales				
Fosforo total	mg/Kg	0,99 ± 0,714	0,13	1,82
Calcio	“	3,54 ± 1,247	2,36	5,30
Magnesio	“	0,28 ± 0,065	0,20	0,36
Sodio	“	0,015 ± 0,005	0,01	0,02
Potasio	“	1,02 ± 1,315	0,28	2,98
Aniones solubles				
Bicarbonatos	(mg/L)	4.288,3 ± 820,45	3.233	4.575
Cloruros	“	448 ± 158,2	262,5	793
Sulfatos	“	956,16 ± 228	748,8	1.243,2

Entre las causas que determinan dicha variación, se puede señalar como la más importante el tipo de actividades de la población, pero también, la existencia de plantas tratadoras de residuos industriales, que en nuestro caso hay alguna en las grandes empresas de textiles ubicadas en la capital; la cercanía de áreas agrícolas, que es la gran totalidad del territorio de este estado mexicano, la eficiencia en los sistemas de tratamientos de residuos municipales, así como las propiedades químicas naturales del agua y del sustrato sólido de la red de alcantarillado y de los influentes naturales que pudiesen llegar a las plantas tratadoras y que en nuestro caso, desconocemos.

Todos los factores señalados hacen muy difícil, por no decir imposible, la comparación de los valores obtenidos por nosotros con los reflejados en los trabajos consultados.

Las características de los biosólidos son determinantes para su uso en el suelo, por ello las hemos agrupado según se muestran en las tablas 2, 3 y 4. Si duda entre las más importantes destacan el pH, los macro y micro nutrientes para los vegetales, como K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu Mn y B provenientes la mayor parte de fuentes domésticas que le confieren una utilidad como abono para diversos cultivos agrícolas y forestales en el altiplano mexicano, así como los elementos traza esenciales y las sales solubles (tabla 2).

Por lo que se refiere al contenido de metales pesados (tabla 3), se observó una gran variabilidad en los resultados obtenidos en los muestreos. Por tener una idea en relación a las concentraciones alcanzadas para ellos en otros biosólidos analizados, comparamos nuestros resultados con otros reportados por la bibliografía consultada. Así, respecto a los valores obtenidos para las formas extraíbles, la concentración de Cd es similar a la que se muestra en Wong et al. (2001), mientras que la del Ni es mayor, la de Pb ligeramente mayor, la de Fe mayor y las de Cu y Zn fueron también menores. Cuando se comparan las concentraciones totales con las reflejadas por Kouloumbis et al. (2001), el contenido de Cd, Cu y Zn es sensiblemente menor en nuestras muestras. Sin embargo cuando se comparan con los resultados de Korboulewsky et al. (2002) las concentraciones de Cu y Pb fueron similares, mientras que las de Cd, Ni y Zn resultaron más altas en los biosólidos de Aguascalientes.

Se observa una gran variabilidad en las concentraciones obtenidas para los diversos parámetros de la composición orgánica en los diferentes muestreos, lo que refleja la variabilidad en la composición de los desechos y también en el procesamiento de los lodos (variabilidad en la eficiencia). Esta última afirmación se debe a la

comunicación verbal del personal de la estación depuradora. Sin embargo, en todos los análisis efectuados, los valores medios obtenidos para las formas extraíbles, solubles en agua ligeramente acidulada, fueron sensiblemente menores que los valores totales considerados como valores límite contemplados en la Normativa Oficial Mexicana NOM 004 sobre Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos (SEMARNAT, 2002). De los siete metales analizados, seis están considerados en la norma, el único que no lo está es el Fe. Todos ellos se presentan por debajo de los límites considerados por esta normativa legal vigente. Solamente el níquel se acerca hacia la mitad del valor establecido como límite. De acuerdo pues con dicha normativa ninguno de los metales analizados representa un riesgo ambiental. No obstante, el alto contenido de materia orgánica (tabla 4) puede afectar la disponibilidad y acumulación de nutrientes y elementos traza cuando se aplica el biosólidos a un suelo, por lo que esta cuestión deberá ser constantemente vigilada.

Tabla 3. Contenidos de metales pesados (mg/Kg) de los biosólidos relacionados con la nutrición mineral y la toxicidad.

METAL	MEDIA y D. T.	MIN	MAX
Cu extraíble	0,5 ± 0,49	0,15	1,41
Cu total	99,3 ± 86,42	28,25	267,5
Zn extraíble	3,9 ± 2,44	<0,05	8,2
Zn total	849,9 ± 257,75	615	1.259,4
Fe extraíble	15,3 ± 20,83	2,61	61,5
Fe total	12.821,4 ± 11.982,07	1.550	38.500
Cr extraíble	0,5 ± 0,35	0,28	1,25
Cr total	67,3 ± 74,46	8,05	196,9
Pb extraíble	0,1 ± 0,10	<0,05	0,4
Pb total	24,7 ± 14,84	6,58	44,75
Ni extraíble	9,4 ± 10,24	1,66	26,48
Ni total	102,4 ± 68,27	13,5	185
Cd extraíble	0,1 ± 0,09	0,03	0,25
Cd total	1,4 ± 0,59	0,65	2,35

3. Grasas, detergentes, pesticidas y microorganismos patógenos

Al igual que lo observado para los parámetros anteriores, también se observa una gran variabilidad en los resultados relativos a los compuestos orgánicos analizados (tabla 3). El contenido medio de compuestos orgánicos volátiles coincide con lo expuesto por Epstein (2003) y Girovich (1996). La concentración más alta de grasas y aceites que se obtuvo entre los 7 muestreos efectuados fue de 180,5 mg/Kg. Si comparamos este valor con el obtenido para biosólidos provenientes de cinco plantas tratadoras de Vancouver (Canadá) que mostraron concentraciones superiores a 890 mg/Kg y permitieron señalar a los autores del trabajo (Bright & Healey, 2003), que no representaban riesgo ambiental importante, podemos decir que nuestros valores tampoco presentan riesgo de contaminación importante.

Por lo que respecta a la presencia de sustancias activas al azul de metileno (detergentes), el rango de los valores de las muestras analizadas estuvo comprendido entre 40 y 450 mg/Kg que coincide con lo señalado por Jensen et al. 2001: el rango obtenido por estos autores va de 19-16.500 mg/Kg.

Tabla 4. M.O., compuestos orgánicos (aceites y grasas en mg/Kg bases seca. C.O.V.= Compuestos Orgánicos Volátiles; S.A.A.M. = Sustancias activas al azul de metileno (mg/Kg peso seco), y microorganismos de interés en la salud pública (UFC/g.p.s.)

Composición	MEDIA	MIN	MAX
M.O. (%)	37,5 ± 8,97	25,8	49,1
Grasas y aceites	87,1 ± 55,85	14,25	126,8
C.O.V. (%)	0,66 ± 0,28	0,32	0,98
S.A.A.M.	173,28 ± 184,15	40	450
Coniformes Fecales	1,03 X 10 ⁷ ± 5,6 X 10 ⁶	1,50 X 10 ⁶	2,5 X 10 ⁷
Salmonella sp.	5,71 X 10 ⁷ ± 1,50 X 10 ⁶	2,40 X 10 ⁵	1,3 X 10 ⁷

En la composición de los biosólidos destaca lógicamente un alto contenido de materia orgánica y del nitrógeno total proveniente de la materia orgánica contenida en las aguas negras no degradadas, así como de la biomasa de los microorganismos involucrados en la degradación. Los organismos patógenos constituyen la propiedad biológica más importante de los biosólidos en relación a la salud pública. Tanto los coliformes fecales como las *Salmonella* sp., presentaron valores típicos de lodos

residuales (Mavridou et al. 2001; Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003).

Los plaguicidas analizados fueron seleccionados porque, además de ser persistentes están considerados dentro de la docena sucia (SEMARNAT: Plan Nacional de Monitoreo y Evaluación, 2002) y/o se encuentran entre los 20 compuestos más dañinos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2003). Los valores obtenidos fueron muy bajos, menores en un orden de magnitud para DDE y el Aroclor a los reportados por McGrath y colaboradores (2000), y apenas un poco mayores, justo por arriba del grado de detección, Bright & Healey (2003) no detectaron dichos pesticidas en los biosólidos de cinco plantas tratadoras de Vancouver.

Tabla 4. Contenido de pesticidas en los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes

Pesticidas(mg/L)	MEDIA	MIN	MAX
Aldrin	<2,33 ± <1,04	<1,5	<3,5
Dieldrin	<0,13 ± <0,06	<0,10	<0,20
D.D.E.	< 0,30 ± <0,00	<0,30	<0,30
Aroclor	< 0,83 ± < 0,06	<0,80	<0,90
Hexaclorobenceno	< 0,50 ± <0,00	<0,50	<0,50

4. Consideraciones relativas a la aplicación de los biosólidos a suelos

Considerando todos los parámetros evaluados, se puede intuir que la aplicación de estos biosólidos a suelos séricos del altiplano mexicano puede mejorar la estructura de los mismos debido a la alta concentración de materia orgánica, cuestión que afectaría también a la retención de la humedad edáfica; por otra parte, aumentaría la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de nutrientes para los vegetales, así como para las comunidades microbiológicas no patógenas, haciendo de este subproducto de los residuos generados, un recurso valioso para la agricultura y la silvicultura de los suelos en el estado de Aguascalientes. A esta conclusión han llegado muchos investigadores acerca de la utilización de los lodos residuales en la agricultura (Soler-Rovira et al., 1996; Sastre et al., 2006), y, en especial para suelos calizos (Vera et al., 2006).

En la última década se han incrementado también los estudios sobre el uso de los biosólidos en los agroecosistemas valorando sus posibles impactos en la biota (Andrés, 1999; Al-Assiuty et al., 2001; Oudeh et al. 2002). Sin embargo, todavía hacen falta estudios ecotoxicológicos, en especial los realizados a medio plazo, que contemplen la acumulación de metales en el suelo por la aplicación asidua de estos lodos, así como de otros compuestos potencialmente tóxicos (pesticidas). Los resultados hasta ahora obtenidos en distintos estados mexicanos, generalmente indican poco riesgo ambiental y un riesgo menor en la salud humana, siempre y cuando se manejen adecuadamente durante las primeras cuatro semanas después de su producción en la planta tratadora, ya que el contenido de patógenos es alto y muestran viabilidad si no ha sido aplicado calor u otro tratamiento que los elimine, según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT, 2002).

Por último, decir que no es frecuente encontrar datos relativos a la evaluación de microorganismos en los biosólidos, mientras que sí son evaluados generalmente a través de las actividades enzimáticas en los suelos en que se aplican los mismos (García-Gil et al., 2004) o de la biomasa microbiana (Vera et al., 2006).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en siete muestras de los biosólidos generados en la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes permiten decir que pueden ser utilizados como fertilizantes para la agricultura. Para la correcta aplicación a los suelos del territorio de estudio, sin embargo sería conveniente realizar estudios ecotoxicológicos, preferentemente en escenarios reales (de campo), sobre las poblaciones microbianas y de la fauna edáfica, ya que estos organismos pueden ser más sensibles a ciertos componentes presentes en los biosólidos, como son algunos metales pesados que van siendo retenidos en los suelos si los biosólidos son utilizados con un uso constante de los mismos.

Agradecimientos: Al proyecto PIT 04-1 “Estudio de las características de los residuos sólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes y su impacto en el ambiente” financiado por la Universidad Autónoma de Aguascalientes, y al Programa EIADES de la Comunidad de Madrid “Evaluación del impacto ambiental y recuperación del medio natural en emplazamientos contaminados”

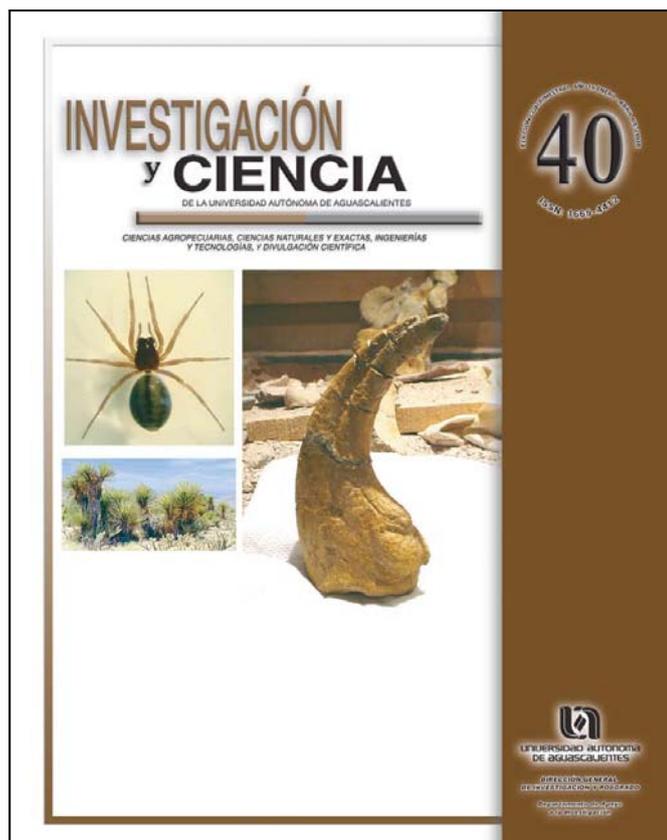
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Assiuty, A.I.M., M.A. Khalil & 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. Degrad. Develop.*, 10:67-77.
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical chemists*, 15th ed. Arlinton, Virginia.
- APHA, AWWA, WEF, 1998. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. APHA, AWWA, WEF. Washington, D.C.
- ATSDR(Agency for Toxic Substances and Disease Registry). *Top 20 Hazardous Substances from the CERCLA Priority List of Hazardous Substances for 2003*. www.atsdr.cdc.gov/cxcx3.html.
- Bright, D.A. & Healey, N. Contaminant risks from biosolids land application: Contemporary organic contaminant levels in digested sewage sludge from five treatment plants in Greater Vancouver, British Columbia. *Env. Poll.* 126: 39-49, 2003
- Epstein, E., 2003. *Land application of sewage sludge and biosolids*. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida.
- Flores, T.F.J. & L. Flores. 2005. *Los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes: Características y usos*. *Investigación y Ciencia*, 33: 4-11. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Garcia-Gil J.C., 2004. Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil. *Biol Fertil Soils*, 39: 320:328
- Girovich, M. J., 1996. *Biosolids* characterization, treatment and use: An overvie. In M.J. Girovich (ed) *Biosolids treatment and management. Processes for beneficial use*. Marcel Dekker. New York. pp: 1- 46.
- Jensen, J., H. Lokke, M. Holmstrup, P. H. Krogh & L. Elsgaard. 2001. Effects and risk assessment of linear alkylbenzene sulfonates in agricultural soil. 5. Probabilistic risk assessment of linear alkybencene sulfonates in sludge amended soils. *Env. Tox. and Chem.*, 20(8): 1690-1697.

- Korboulewsky, N, Dupouyet S. & Bonin G. 2002. Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards: Carbon, heavy metals, nitrogen and phosphorus accumulation. *J. of Env. Qual.*, 31 (5): 1522-1527.
- Kouloubis, P., F. Rigas & Mavridou A. 2000. Environmental problems from the disposal of sewage sludge in Greece. *Int. J. Env. Health Res.*, 10: 77-83.
- Mavridou, A., P. Kouloubis, E. Vassalou, F. Rigas & N. Vakalis. 2001. Microbiological quality of sewage sludge in Greece disposed for agricultural use. *Int J. Env. Health Res.*, 11:275-279.
- Oudeh, M., M. Khan & J. Scullion. 2002. Plant accumulation of potentially toxic elements in sewage sludge as affected by soil organic matter level and mycorrhizal fungi. *Env. Poll.*, 116:293-300.
- Potisek T., M.C., U. Figueroa V., R. Jasso I., G. González C. & J. Villanueva D. 2006. *Potencial Uso de biosólidos en un suelo de Matorral Desértico*. CENID-RASPA INIFAD 38 pp.
- Sastre I.,; Cabezas, J-G.; Ibáñez, A. & J. Vera 2006. *Utilización de residuos orgánicos en la recuperación de suelos*. Tecnología para el Tratamiento de Suelos Contaminados. Soil Remediation Technologies IMIDRA-Comunidad de Madrid 242-258 (91-107 CD IMIDRA)
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2002. *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-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.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Instituto Nacional de Ecología. 2002. *Plan Nacional de Monitoreo Ambiental*. 16 pp.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2003. *NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. Diario Oficial de la Federación 15 agosto 2003. pp: 18-59.
- Soler-Rovira P., J. Soler-Soler, J. Soler-Rovira & A. Polo. 1996. Agricultural use of sewage sludge and its regulation. *Fertilizer Reseach*, 43:173-177.

- Soler-Rovira P., J.C. García-Gil & A. Polo. 1998. Organic matter mineralization in a soil amended with different sewage sludges. In *Fertilization for sustainable plant production and soil fertility* (volume III). CIEC editorial borrada: 103-108.
- Soler P.A., G. Brunetti, A. Polo & N. Senesi. 2002. Comparative chemical and spectroscopic characterization of humic acids from sewage sludges and sludge-amended soil. *Soil Science*, 167(4):235-245.
- Vera J. 2006. Compost application effects on biological parameters in two contrasted calcareous soils. Environmental Biotechnology and Engineering. *Proceedings of the Second International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering (2IMEBE)* 26-29 September, 2006. México City, México.
- Wong, J.W. Fang, Li, M. & Su, D.C. 2001. Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong. *Env. Int.*, 27: 373-380.
- Woo Reza, J., R. Vazquez, E. Olivares, F. Zavala, R. González, R. Valdez & C. Gallegos. Aplicación de lodos residuales en la producción de maíz (*Zea mays*). *Libro Resúmenes XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, León, Guanajuato, México*. 17-21 sep-2007

ESTUDIO DE LA BIODIVERSIDAD DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS EN SUELOS DE ALFALFA Y MAÍZ CON APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS



El trabajo que se expone corresponde íntegramente al publicado por Flores-Pardavé, L.; Escoto, J.; Flores-Tena, F. J. y Hernández, A. J. 2008. “Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos” publicado en la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 40: 11-17.

ESTUDIO DE LA BIODIVERSIDAD DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS EN SUELOS DE ALFALFA Y MAÍZ CON APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS

RESUMEN

Gran parte de los estudios sobre los biosólidos se refieren a los efectos positivos de su aplicación en cultivos, sin embargo, existe poca información sobre la evaluación de los mismos en cuanto a su efecto en el componente biológico del subsistema edáfico. Por ello, el objeto del presente trabajo es el estudio de su acción sobre la biodiversidad de artrópodos en los agroecosistemas de alfalfa y maíz en el estado de Aguascalientes (México). Con el uso de trampas pitfall después de dos años consecutivos de experimentación en campo se obtuvo que en ambos cultivos la biodiversidad fue alta y que el efecto de la aplicación de los biosólidos es temporal. Los grupos con mayor abundancia fueron los coleópteros, dípteros, arañas, himenópteros, ácaros y colémbolos. *Palabras clave:* artrópodos edáficos, agroecosistemas, trampas pitfall, morfoespecies.

ABSTRACT

Most of the studies about biosolids refer to positive effects of biosolids application to increase soil fertility. However an evaluation about its effect on the biological component of the edaphic subsystem is lacking. Therefore the goal of this study was to know the effect of the biosolids on arthropod biodiversity in lucerne and corn agroecosystems in Aguascalientes state (México). During two consecutive years field experiments were carried out using pitfall traps, in both agroecosystems biodiversity was high, and the effect of biosolids was temporal. Coleopterous, dipterous, spiders, hymenopteran, mites and collembolan were the most abundant groups. *Key words:* edaphic arthropods, agroecosystems, pitfall traps, morphospecies.

INTRODUCCIÓN

La fauna del suelo está integrada, principalmente, por invertebrados que representan aproximadamente el 15% de la biomasa del suelo (Eijsackers, 1994), los nemátodos, anélidos y artrópodos son los grupos más importantes. Entre estos últimos, destacan los ácaros, arañas, colémbolos, coleópteros, himenópteros, dípteros, quilópodos, diplópodos e isópodos, ya sea en estado adulto o bien en estado larvario, como es el caso de dípteros y coleópteros (Eisenbeis y Wichard, 1987).

Los artrópodos edáficos forman parte de las cadenas y redes tróficas que varían en complejidad, de acuerdo con las condiciones abióticas y bióticas del suelo, así como a las variaciones climáticas, estado de desarrollo y grado de alteración del ecosistema. Aunque algunos artrópodos del suelo participan como forrajeros, la mayor parte de ellos pertenecen a la cadena del ciclo de los detritívoros y están involucrados en la descomposición de la materia orgánica, en la regulación de las actividades microbianas y parcialmente en los ciclos nutritivos (Coleman *et al.*, 2004; Wardle, 2002).

La fauna edáfica en los sistemas agrícolas está relacionada con el tipo, edad, diversidad, estructura y manejo del cultivo. En general, la biodiversidad animal depende de cuatro características: la diversidad de vegetación dentro (malezas) y alrededor (vegetación natural o inducida), el tipo y frecuencia de rotación de cultivos, así como de la intensidad de manejo (Altieri, 1999).

El subproducto sólido del tratamiento de las aguas residuales domésticas, mejor conocido como biosólidos, se emplea, recientemente, como fertilizante y mejorador del suelo en el campo mexicano (INIFAP, 2002), es reconocido este papel para distintas zonas de México y se han reportado los efectos positivos para los cultivos de grano y/o forrajeros (Figuroa *et al.*, 2000; Potisek *et al.*, 2006; Woo Reza *et al.*, 2007).

La mayoría de las investigaciones sobre los biosólidos se han centrado en determinar las características y las dosis adecuadas para obtener los mejores rendimientos de diversos cultivos (Díaz-Serrano *et al.*, 1997; Robledo *et al.*, 2001), aunque se reconoce también que es necesario realizar experimentos en campo a largo plazo para evaluar la acumulación de metales pesados en las plantas, así como la toxicidad de compuestos orgánicos e inorgánicos que afecten a la comunidad biológica del sistema agrícola (Luna *et al.*, 2002). Sin embargo, no se encuentran estudios relacionados con el efecto de los biosólidos en la diversidad biológica del subsistema edáfico. Esta última cuestión ha constituido el propósito de nuestro trabajo. Por ello, se muestra a continuación una breve síntesis en relación especialmente a los artrópodos edáficos, ya que nos centraremos en este grupo de la componente biológica de los

agroecosistemas frecuentes en el estado de Aguascalientes y otros muchos lugares del mundo: cultivos de alfalfa y de maíz, una leguminosa y una gramínea muy utilizadas en los sistemas de rotación de cultivos en el campo mexicano. En particular los objetivos que se persiguen con este trabajo son: 1) conocer si la adición de biosólidos tiene efecto en la composición de la fauna de artrópodos del suelo y 2) conocer si la biodiversidad de los artrópodos del suelo se ve afectada por la adición de subproducto ya mencionado.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio fue realizado en el “Rancho San José” localizado a 9 km al sur de la Ciudad de Aguascalientes, situada en el Altiplano Mexicano. Sus coordenadas geográficas son 21° 48' 21" N; 102° 16' 07" O, a una altitud de 1,883 msnm, Según la SPP (1981), el clima correspondiente a esta zona es de carácter semiseco con una temperatura media anual de 17.4°C y precipitación media de 526 mm, con período de lluvias en verano y el suelo es de tipo xerosol háplico. La bibliografía reciente (Guerrero, 2007), denota que la clasificación de los suelos de México está cambiando y es probable que en futuros estudios, se tenga que referir a otra denominación para el tipo de suelo.

La vegetación natural de los alrededores de los dos cultivos corresponde al denominado matorral desértico y pastizal natural (SPP, 1981). La vegetación arbórea remanente del área está conformada por mezquites (*Prosopis laevigata*), huizaches (*Acacia farnesiana*), y varios arbustos típicos de matorral semidesértico (*Opuntia* sp, *Yucca* sp.) En algunas zonas del rancho se han establecido ejemplares de álamo plateado (*Populus alba*) y de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) como barreras rompevientos o para separación de parcelas.

Estudios en campo

Para cada cultivo se establecieron 4 parcelas experimentales de 3000 m² cada una, dos adicionadas con biosólidos y dos sin ellos. La separación entre las parcelas de cada uno de los cultivos con vegetación nativa e introducida fue de 100 m. Se aplicaron 200 t/ha de biosólidos, con un 80% de humedad. Los lodos fueron incorporados al suelo con maquinaria agrícola; después de cuatro semanas de la aplicación se realizó la siembra. Para el caso de la alfalfa se realizó una sola vez en la segunda semana de enero de 2004 (1° año del experimento) y para el maíz la segunda semana de junio de los dos años consecutivos del ensayo, ya que la alfalfa se autosiembra y el maíz no. No se

aplicaron plaguicidas ni fertilizantes el período de estudio y solamente para el caso del maíz, antes de la siembra del segundo año, fueron retirados los restos del cultivo del año anterior.

Se establecieron 9 puntos de muestreo en cada parcela, separados 10 m entre sí, los que formaron una retícula en la parte central de la misma. En cada punto, se colocó, durante una semana, una *trampa pit fall* que contenía alcohol a 50% (que actuó como atrayente, como sustancia letal y como líquido conservante). Una vez transcurrida la semana se colectó la fauna atrapada, en alcohol a 70% (Bater, 1996). Se realizaron 12 muestreos cada dos meses para el cultivo de alfalfa y 6 para el caso del maíz, tres cada año en los meses de julio, agosto y septiembre. Los artrópodos colectados fueron trasladados al laboratorio, los ácaros y colémbolos fueron procesados y examinados al microscopio óptico, de acuerdo a lo señalado por Vázquez (1999). Los macroartrópodos y algunos mesoartrópodos fueron identificados a través del microscopio estereoscópico con el apoyo de los siguientes trabajos de carácter taxonómico: Arnett (2000), Barrientos (1988), Borror, *et al.* (1992) Castner y Byrd (2001), Cervantes *et al.* (2004), Christiansen y Bellinger (1981), Chu (1949), Dillon y Dillon (1972), Hoffmann y López-Campos (2000), Mac Alpine *et al.* (1989), Palacios-Vargas (1997), Vázquez (1999), Vázquez y Palacios-Vargas (2004). Una vez identificadas las diferentes morfoespecies, al nivel taxonómico más inferior posible, se realizó el conteo.

Análisis numéricos

Se calculó el índice de diversidad de Shannon (H') utilizando todos los valores de las morfoespecies colectadas en el estudio, para lo cual se utilizó el paquete estadístico incluido en Brower *et al.* (1998). Para conocer si en cada cultivo el número de morfoespecies y el índice de diversidad de Shannon, bajo las condiciones experimentales (con y sin adición de biosólidos) y para cada año, mostraban diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$), se realizaron los análisis de varianza de una sola vía utilizando el paquete estadístico Statistica 7.0 (StatSoft.Inc. 2004).

RESULTADOS

La fauna de artrópodos edáficos en las parcelas de alfalfa estuvo representada por 280 morfoespecies: 18 ácaros, 43 arañas, 8 colémbolos, 109 coleópteros, 3 dermápteros, 1 diplópodo, 39 dípteros, 25 hemípteros, 24 himenópteros, 1 isópodo, 2 lepidópteros, 1 opiliónido, 6 ortópteros, 1 quilópodo, 1 tisanóptero y 1 tricóptero, siendo los órdenes Collembola, Acarina, Coleoptera, Aranae y Diptera los mejor representados

numéricamente. La composición de artrópodos edáficos en maíz, estuvo representada por 148 morfoespecies: 10 ácaros, 14 arañas, 8 colémbolos, 61 coleópteros, 3 dermápteros, 29 dípteros, 8 hemípteros 10 himenópteros, 1 isópodo, 1 opiliónido, 3 ortópteros y 1 tisanóptero. Los órdenes con mayor abundancia fueron Collembola, Acarina, Coleoptera, Hymenoptera y Aranae. La abundancia relativa de los principales grupos en ambos cultivos se presenta en la tabla 1.

Tabla 1 Abundancia relativa en porcentaje de los principales grupos biológicos de la fauna edáfica en cultivos de alfalfa y maíz con y sin adición de biosólidos.

Grupo biológico	Alfalfa con biosólidos		Alfalfa sin biosólidos		Maíz con biosólidos		Maíz sin biosólidos	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Ácaros	2	12	4	16	5	5	10	12
Arañas	1	15	4	9	<0.2	<0.2	2	1
Colémbolos	92	44	79	46	83	64	67	70
Coleópteros	2	3	7	5	3	7	2	2
Dípteros	1	9	2	2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Hormigas	<0.1	<0.2	<0.2	<0.2	3	11	1	1
Otros	2	17	8	22	6	13	18	4

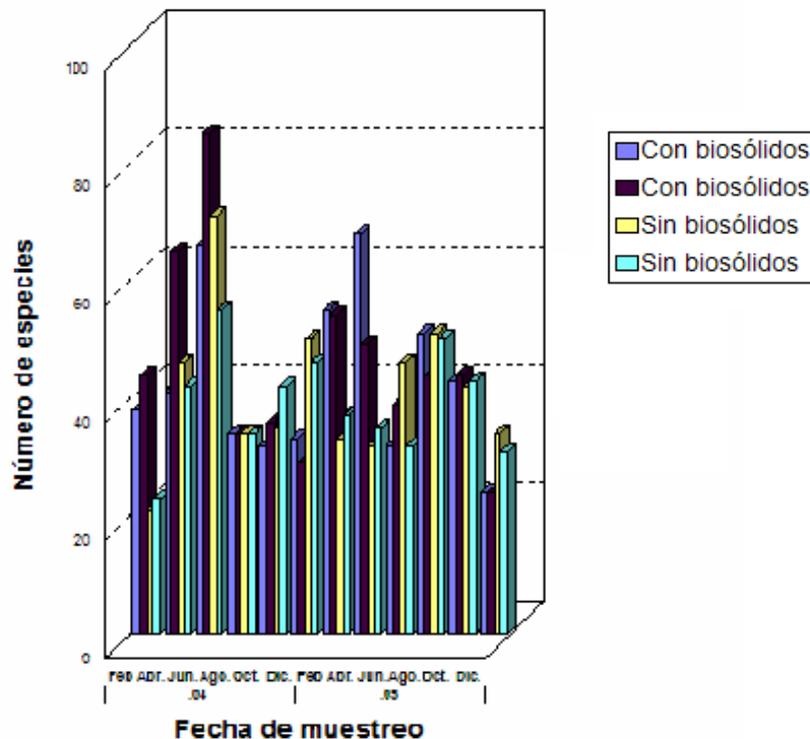
Los colémbolos fueron los artrópodos edáficos con mayor abundancia tanto en el cultivo de alfalfa como en maíz con y sin adición de biosólidos. El primer año con la adición de biosólidos representaron 92% de la fauna edáfica en el cultivo de alfalfa y 83% en el cultivo de maíz. Las arañas fueron más abundantes que las hormigas en la alfalfa y las hormigas fueron más abundantes que las arañas en el maíz.

En la figura 1, se muestra la riqueza de morfoespecies, capturadas en cada muestreo durante el período de estudio; se observa que en las parcelas de alfalfa adicionadas con biosólidos el número de especies fue generalmente mayor que en las sin adición, sin embargo, el análisis estadístico no mostró diferencia significativa ($F=1.19$, $p = 0.28$). No obstante, se puede decir que durante los meses de abril a junio, la densidad de artrópodos edáficos presenta los máximos valores.

La estimación de la biodiversidad mediante el índice de Shannon (H') dió como resultado valores entre 1.02 y 4.55 bits en las parcelas con biosólidos y entre 2.10 y

4.54 bits en parcelas testigo. En los meses inmediatos a la aplicación de los biosólidos hubo diferencias entre las parcelas con y sin aplicación de biosólidos: valores entre 1.02 y 1.85, para las primeras en relación a valores entre 2.4 y 2.8 en las segundas, probablemente debido a la abundancia de colémbolos. Del análisis de varianza se obtuvo un valor de $F = 0.11$ ($p = 0.74$) para el efecto del tratamiento, el cual no es significativo y un valor de $F = 6.12$ ($p = 0.02$) para el efecto del año, lo que indica una diferencia significativa, estadísticamente.

Figura 1. Variación de la riqueza de artrópodos en las parcelas de alfalfa durante los dos años consecutivos del estudio.

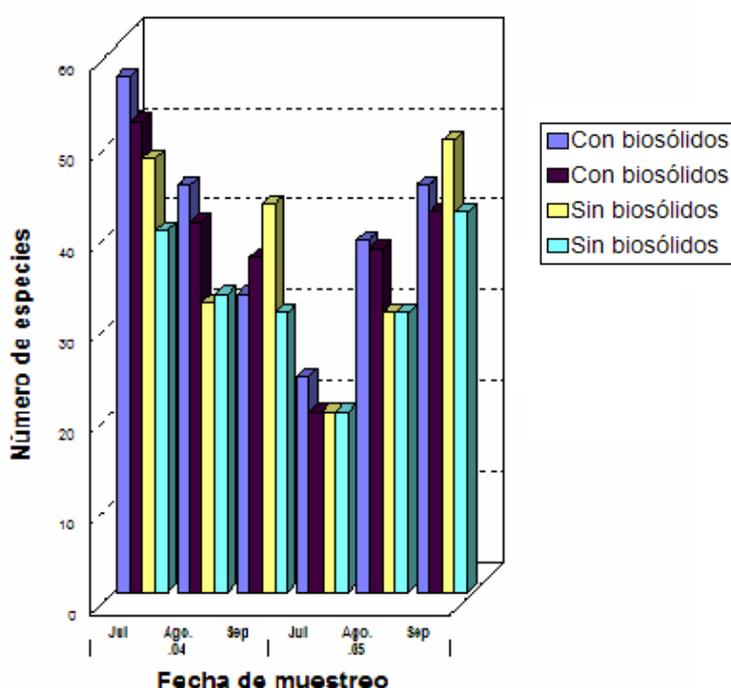


La riqueza de morfoespecies en el cultivo de maíz también fue alta (figura 2), aunque menor a la obtenida en el cultivo de alfalfa, los valores mayores se registraron después de la adición de biosólidos, mientras que los menores fueron observados en julio de 2005, aunque en septiembre del mismo año también se incrementó la variedad de especies. El análisis estadístico no mostró una diferencia significativa ($F = 1.37$, $p = 0.25$).

El índice de diversidad de Shannon varió entre 1.08 y 3.13 bits en las parcelas con tratamiento, y entre 0.46 y 3.20 bits en las parcelas sin tratamiento. Durante 2004

los valores menores se obtuvieron en las parcelas con tratamiento, mientras que en el 2005 en las parcelas sin adición se registraron los valores menores. El efecto del tratamiento fue no significativo ya que se obtuvo un valor de $F= 0.63$ ($p= 0.43$) mientras que los efectos del año y la interacción fueron altamente significativos con valores de $F= 7.84$ ($p = 0.01$) y $F= 8.28$ ($p= 0.01$), respectivamente.

Figura 2. Variación de la riqueza de artrópodos en el suelo del agroecosistema de maíz en las parcelas experimentales durante los dos años de estudio.



La riqueza de especies y la biodiversidad en el agroecosistema de alfalfa fue mayor debido a que dicho cultivo es perenne. También, se observó cierta sucesión de especies en las diferentes épocas del año, aunque algunas de ellas se colectaron durante todo el año. Cuando se compararon las morfoespecies de ambos cultivos se observó que aproximadamente 80% fueron comunes, incluyendo las más abundantes.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para el agroecosistema de la alfalfa durante los meses que hay mayor abundancia de artrópodos (abril-junio), muestran los valores más bajos de su biodiversidad, mientras que en el mes de diciembre este índice es más elevado.

Aunque el análisis estadístico no indica una diferencia significativa en relación al tratamiento con los biosólidos, sí lo fue respecto a los dos años consecutivos del experimento. Probablemente, estos resultados están relacionados con factores climáticos, edáficos y de disponibilidad de nutrientes para este tipo de fauna, como han manifestado otros autores que han trabajado en agroecosistemas de otras latitudes (Behan-Pelletier, 1999; Cortet *et al.*, 1999; Büchs, 2003). Por otra parte, la diversidad y abundancia de las especies en los agroecosistemas depende especialmente de los colémbolos, ya que existe una relación directa entre la abundancia de los mismos y la humedad edáfica (Thomas y Marshall, 1999; Culik *et al.*, 2002; Cutz-Pool, 2003). El alto contenido de materia orgánica en los biosólidos (Flores y Flores, 2005) pudo favorecer el crecimiento poblacional de los colémbolos durante el primer año en ambos cultivos.

Debido a la complejidad de la fauna edáfica, generalmente los investigadores han estudiado uno ó pocos *taxa* presentes en el suelo (André *et al.*, 2002), por lo que es difícil comparar los resultados aquí obtenidos con los mostrados en la bibliografía hasta la fecha. No obstante, sí es posible comentar algunas coincidencias y diferencias con los trabajos revisados. Por ejemplo, con relación a los ácaros, Behan-Pelletier (1999) y Ruf *et al.* (2003) señalan que mientras los oribátidos dominan en suelos de bosques, los Mesostigmata (gamásidos), Prostigmata y Astigmata están mejor representados en suelos agrícolas, ya que colonizan rápidamente nuevos sitios y pueden explotar microhábitats restringidos, de las ocho especies con mayor densidad, solamente una, la más abundante, fue Oribatida.

Otros autores estudiaron el efecto de los biosólidos en un cultivo de guayaba en Egipto, encontrando que las densidades de los oribátidos y colémbolos, siguen un patrón estacional, dos especies fueron las que mostraron mayor abundancia, el índice de Shannon mostró un rango entre 1.3 a 3.0 bits (Al-Assiuty *et al.*, 2000).

Se conoce también que los coleópteros, al ser el orden con mayor número de especies, suele estar bien representado en los agroecosistemas (Hadjicharalampous *et al.*, 2002). Así, en nuestro caso, se han distinguido 109 morfoespecies, doce de ellas las más frecuentes. Con respecto a los dípteros, se conoce que pocos de ellos son completamente terrestres, ya que la mayoría pasan solamente una parte de su ciclo de vida en este hábitat, especialmente el estadio de larva. Al igual que para la mayoría de los grupos que integran la fauna edáfica, los factores que afectan la distribución de los dípteros en el suelo son la entrada de materia orgánica y la humedad del suelo. El

número de especies de este grupo es muy variable, desde 2 especies en un cultivo de maíz en Italia, hasta 102 en un cultivo de trigo en el Reino Unido (Frouz, 1999).

Los himenópteros capturados fueron mayormente hormigas, su diversidad se ve disminuida en los agroecosistemas por las actividades de labranza que generalmente dañan su hábitat. Algunas especies de la subfamilia Myrmicinae, que son generalistas por su flexibilidad en el tiempo de forrajeo y en sus requerimientos alimenticios, se encuentran en estos agroecosistemas, cabe señalar que en el sistema con alfalfa su densidad fue menor que en el del maíz, probablemente debido a los cortes periódicos del cultivo.

Este estudio preliminar deberá completarse con más experimentación relativa a poner de manifiesto si factores climáticos, edáficos o alimenticios son determinantes de la biodiversidad de artrópodos de estos agroecosistemas mas que la adición de biosólidos.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- 1) La composición de la fauna edáfica de artrópodos no se modificó de manera evidente con la aplicación de biosólidos tanto en el cultivo de alfalfa como en el de maíz, solamente se observó, después de la adición, un cambio temporal en la abundancia de colémbolos.
- 2) La aplicación de biosólidos tuvo solamente un efecto temporal inmediato en el índice de diversidad, ya que al existir un gran crecimiento de colémbolos, el índice de diversidad disminuyó, pero al poco tiempo el efecto desapareció.
- 3) La biodiversidad de la fauna edáfica de artrópodos es alta. Los grupos con mayor abundancia fueron los coleópteros, dípteros, arañas, himenópteros, ácaros y colémbolos.

Agradecimientos: Esta investigación se ha llevado a cabo con el aporte económico del proyecto PIT 04-1 “Estudio de las características de los residuos sólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes y su impacto en el ambiente” financiado por la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altieri, M.A.. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 19-31.

- André, H. M., Ducarme, X. and Ph. Lebrun, 2002. Soil biodiversity : myth, reality or conning ? *Oikos*, 96: 3-24.
- Arnett, R.H., 2000. *American Insect: A handbook of the Insects of America North of México.*, U.S.A.: CRC Press.1003 pp.
- Al-Assiuty, A.I. M.; Khalil, M.A. & Abdel-Lateif, H.M. 2000. Effects of dry sludge application on soil microarthropod communities in a reclaimed desert ecosystem. *Pedobiologia*, 44, 567-578.
- Barrientos, J.A., 1988. *Bases para un curso práctico de Entomología.* Ed. Asociación Española de Entomología, Barcelona 754 pp.
- Bater, J. E.. 1996. *Micro and Macroarthropods.* In G.S. Hall (ed) *Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediments.* U.K.: CAB International. 163-174.
- Behan-Pelletier, V.M., 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 411-423.
- Borror, D., C. Triplehorn & N. Johnson, et al., 1992. *An Introduction to the Study of Insect.* 6th ed., U.S.A.: Saunders College Publishing. 875 pp.
- Brower, J. E., J. H. Zar & C. N. Von Ende. 1998. *Field and Laboratory Methods for General Ecology.* 4th ed., U.S.A.: Mc. Graw Hill. 273 pp.
- Büchs, W., 2003. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 98, 35-78.
- Castner, L. & J.H. Byrd., 2001. *Forensic Insect Identification Cards.* U.S.A.: Feline Press.
- Cervantes, M. J.; Lomelí, F.; Peña, J. R., Terrón, R.A.; Rodríguez, S. 2004. *Bioecología de ácaros y áfidos de importancia agrícola en México.* México: Universidad Autónoma Metropolitana. 203 pp.
- Christiansen, K. & P. Bellinger, 1981. *The Collembola of North America. Part 4 Families Neelidae and Sminthuridae.* U.S.A.: Grinnell College. 1043-1322.
- Chu, H.F., 1949. *How to know the immature insects.* U.S.A.: Wm. C. Brown Company Publishers. 234 pp.

- Coleman, D.C., D.A. Crossle, Jr & P.F. Hendrix, 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. 2nd ed. U.S.A.: Elsevier Academic Press. 286 pp.
- Culik, M.P., J. L. de Souza & J.A. Ventura, 2002. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espirito Santo, Brazil. *Applied Soil Ecology*, 21: 49-58.
- Cutz-Pool, L.Q., 2003. *Colémbolos edáficos de dos agroecosistemas de San Salvador, Hidalgo*. Tesis Maestro en Ciencias Biológicas (Sistemática) Facultad de Ciencias. UNAM, México. 89 pp.
- Díaz-Serrano, F.R., M. E. Romero & M. Webber, 1997. Experiencias en el manejo de lodos residuales municipales en agricultura en Guanajuato. México. *Memoria del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tab. México*. 44 pp.
- Dillon, E. & L. S. Dillon, 1972. *A Manual of common beetles*. U.S.A.: Dover Publications Vol. I y II, 878 pp.
- Eijsackers, H., 1994. Ecotoxicology of soilorganisms: seeking the way in a pitch-dark labyrinth. In M.H. Donker, H. Eijsackers and F. Heimbach (eds) *Ecotoxicology of soil organisms*. U.S.A.: Lewis Publishers. 3-32.
- Eisenbeis, G. y W. Wichard. 1987. *Atlas on the biology of soil arthropods*. Springer Verlag. Berlin. 1-20.
- Figueroa V. U., M. Palomo R., M. Flores O. y B. Corral D. 2000. *Establecimiento de parcelas demostrativas con el uso de biosólidos en suelos agrícolas del valle de Juárez, Chih.* INIFAP, Praxedis G. Guerrero, Chihuahua. Informe de Investigación.
- Flores, T. F.J. & L. Flores 2005. Los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes: Características y usos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 33: 4-11.
- Frouz, J. 1999. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 167-186.

- Guerrero, E. E. 2007. La cartografía de Suelos en México esc. 1:250.000. *Libro Resúmenes XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, León, Guanajuato, México, 17-21 sep-2007.*
- Hadjicharalampous, E., K. L. Kalburtji & A.P. Mamolos, 2002. *Soil arthropods (Coleoptera, Isopoda) in organic and conventional agroecosystems. Environmental Management, 29 (5): 683-690,*
- Hoffmann, A. & G. López-Campos. 2000. *Biodiversidad de los ácaros en México.* México: CONABIO y Facultad de Ciencias, UNAM., 230 pp.
- INIFAP (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES AGRÍCOLAS Y PECUARIAS). 2002. *El uso de biosólidos en la agricultura.* Fichas tecnológicas. INIFAP. México.
- Luna, M.L. C. Vega, M.O. Franco, S. Vásquez, N. Trujillo, E. Ramírez & L. Dendooven, 2002. Actividad microbiana en suelos. *Avance y Perspectiva, 21: 328-332.*
- MacAlpine, J.F. 1989. *Manual of nearctic diptera.* MacAlpine (ed) and D.M. Wood, *Reach Branch Agriculture Canada.* 125-147.
- Palacios-Vargas, J. G. 1997. *Catálogo de los Collembola de México.* México: Facultad de Ciencias, UNAM. 102 pp.
- Potisek, C., U. Figueroa, R. Jasso, G. González & J. Villanueva. 2006. *Potencial de uso de Biosólidos en un suelo de Matorral Desértico.* Ed. INIFAP, CENID-RASPA.
- Robledo, E., L. Corlay, J. Pineda, E. Álvarez & A. Ponce. 2001. *Characterization and agricultural application of sewage sludge.* ASAE Paper No. 01-2283 St Joseph, Mich.: ASAE.
- Ruf, A., L. Beck., P. Dreher., K. Hund-Rinke., J. Römbke & J. Spelda. 2003. A biological classification concept for the assessment of soil quality: "biological soil classification scheme (BBSK). *Agriculture, Ecosystems and Environment, 98: 263-271.*
- SPP (SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO). 1981. *Síntesis Geográfica de Aguascalientes.* México: Secretaría de Programación y Presupuesto. 98 pp.

- StatSoft. Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Thomas, C.F.G. & E.J.P. Marshall. 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 72: 131-144,
- Vázquez, M.M., 1999. *Catálogo de los ácaros oribátidos edáficos de Sian Ka'an, Q. Roo, México*. México: CONABIO. 126 pp.
- Vázquez, G. M.M. & J.G. Palacios-Vargas. 2004. *Catálogo de colémbolos (Hexapoda: Collembola) de Sian Ka'an, Quintana Roo, México*. México: CONABIO. 123 pp.
- Wardle, D.A. 2002. *Communities and Ecosystems: Linking the aboveground and belowground components*. U.S.A.: Princeton University Press.
- Woo Reza, J., R. Vazquez, E. Olivares, F. Zavala, R. González, R. Valdez & C. Gallegos. Aplicación de lodos residuales en la producción de maíz (*Zea mays*). *Libro Resúmenes XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, León, Guanajuato, México*. 17-21 sep-2007

EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE BIOSÓLIDOS APLICADAS A SUELOS
DE AGROECOSISTEMAS DE ALFALFA Y MAÍZ
SOBRE LA COMUNIDAD DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS



EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE BIOSÓLIDOS APLICADAS A SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE ALFALFA Y MAÍZ SOBRE LA COMUNIDAD DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS

RESUMEN

El objetivo del trabajo estuvo centrado en la hipótesis de si al aumentar la dosis de aplicación de biosólidos a los suelos de agroecosistemas de alfalfa y maíz, aumentaba o disminuía la fauna de artrópodos en los mismos. El ensayo experimental en campo ha permitido: (a) realizar el estudio de la dinámica estacional de los principales grupos de artrópodos, (b) comparar técnicas habituales para la recogida de muestras; (c) estudio de parámetros de la comunidad de artrópodos edáficos (abundancia, riqueza, biodiversidad y equitatividad) con diferentes dosis de biosólidos aplicadas al suelo.

Se muestran las dinámicas estacionales de las poblaciones de los principales grupos de artrópodos edáficos (ácaros, colémbolos, coleópteros, dípteros y arañas) en estos dos agroecosistemas tropicales con adición de biosólidos. Se obtienen los mejores resultados con el muestreo de trampas pitfall que con embudo de Berlesse-Tullgren. La riqueza y la abundancia de artrópodos en el agroecosistema de alfalfa aumentan con aplicaciones de biosólidos a razón de 200 y 400 t/ha. Sin embargo, con la dosis de 800 t/ha disminuyen estos atributos de la comunidad. Para el caso del maíz, también se observó un incremento de la riqueza de artrópodos con 200 t/ha de biosólidos aplicados al suelo, aunque este parámetro disminuye con aplicación de una dosis más alta. En ambos agroecosistemas hay diferencias significativas en la abundancia y la diversidad respecto a los diferentes tratamientos considerados.

Palabras clave: dinámica poblaciones artrópodos, técnicas muestreo artrópodos, riqueza de especies, biodiversidad y equitatividad

ABSTRACT

The goal of this work focused on the hypothesis of if the increased rate of application of biosolids to soils of agroecosystems of alfalfa and corn, increased or decreased the arthropod fauna within them. The experimental field has enabled: (a) the

study of seasonal dynamics of major groups of arthropods, (b) to compare techniques for sample collection, (c) study of parameters of the community of soil arthropods (abundance, richness, biodiversity and evenness) with different doses of biosolids applied to soil.

Population seasonal dynamics of major groups of soil arthropods (mites, springtails, beetles, flies and spiders) in these two tropical agroecosystems addition biosolids. The best results were obtained with pit fall traps that with Berlesse-Tullgren funnels. The richness and abundance of arthropods in the alfalfa agroecosystem increased with 200 t/ha and 400 t/ha biosolids addition. However, with the dose of 800 t/ha the abundance decrease. In the case of maize, there was also an increase in arthropod richness with 200 t/ha of biosolids applied to soil, although this parameter decreases with application of a higher dose. In both agroecosystems there are significant differences in the abundance and diversity in different treatments.

Key words: arthropod population dynamics, arthropod sampling techniques, species richness, biodiversity and evenness

INTRODUCCIÓN E HIPÓTESIS DEL TRABAJO

En un trabajo anterior respecto a la biodiversidad de artrópodos edáficos en agroecosistemas análogos a los considerados en este trabajo y con una aplicación de 200 T/ha (Flores-Padarvé et al., 2008), se había puesto de manifiesto que dicha dosis tenía un efecto positivo en cuanto a la mayor abundancia de estos organismos. La hipótesis que se tarta ahora de comprobar es si aplicando dosis superiores a la señalada sigue aumentando este tipo de fauna edáfica o, si por el contrario desminuye. En cualquiera de los dos casos se tarta de evaluar cuales son las poblaciones de artrópodos que pueden aumentar o disminuir su densidad de población a causa de la adicción de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales (biosólidos).

El incremento de los conocimientos sobre los problemas derivados de la degradación de los suelos está contribuyendo a identificar la investigación sobre la fauna edáfica como una prioridad en la evaluación de la calidad de los mismos (Parisi et al., 2005). Este es un aspecto que recobra aún más interés para suelos de cultivo a fin de ir respondiendo con una agricultura sostenible que comienza a ser exigida en muchos países. Por esta razón, consideramos que el acercamiento a los aspectos señalados en el párrafo anterior aportará conocimientos en dos direcciones. Por una parte, pretendemos aportar datos relativos a la fauna de suelos agrícolas de México para que, en su

momento, puedan utilizarse en estimaciones de la calidad de los mismos. Y, en segundo lugar, evaluar cómo dicha fauna puede estar o no modificada por el uso, cada vez más creciente en nuestro país, de lodos residuales como enmienda a suelos agrícolas pobres o empobrecidos en nutrientes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo fue realizado en parcelas muy homogéneas aunque situadas en diferentes ranchos, pero muy próximos entre sí. en el estado de Aguascalientes ubicado en el altiplano mexicano: a) “Rancho San José”, localizado a 9 Km al sur de la ciudad de Aguascalientes, capital del estado y a una altitud de 1883 m; b) “Rancho La Salada”, localizado a 7 Km al suroeste de Aguascalientes y a una altitud de 1869 m; c) “Rancho San Nicolás”, a 1851 m de altitud y a 2 Km del rancho anterior; d) Área Agrícola “La Posta Zootécnica” del Centro de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Autónoma de Aguascalientes ubicada a 15 km. al noroeste de la Ciudad Universitaria en el municipio de Jesús María y a una altitud de 1914 m.

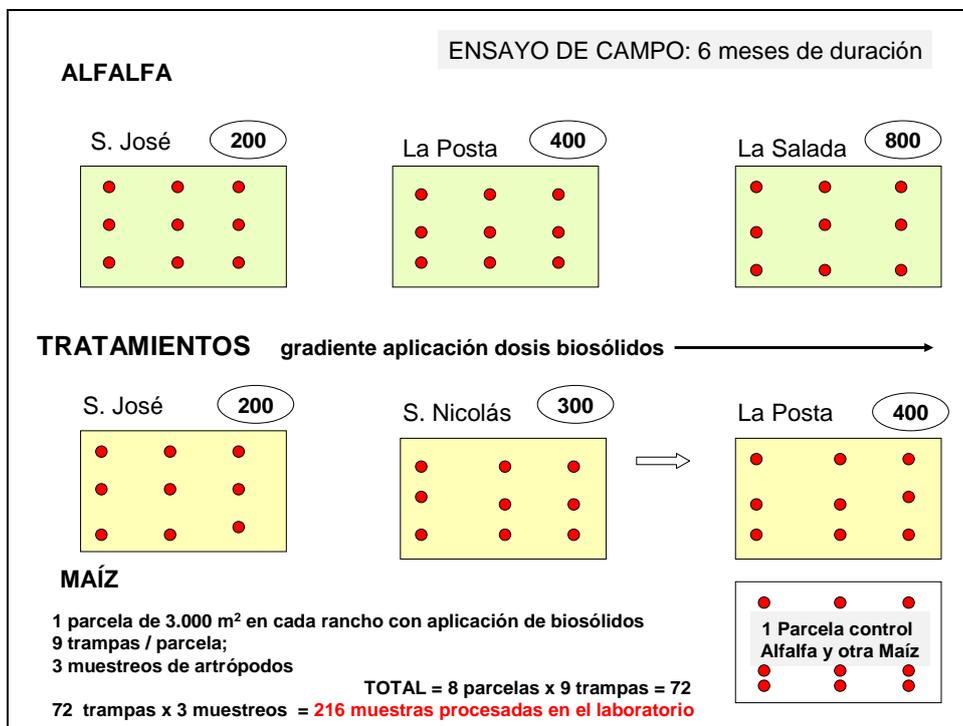
La homogeneidad de las parcelas se debe a que los diferentes ranchos o fincas presentan clima semiseco semicálido, con T^a media anual de 18,3 ° C y precipitación anual media de 536 mm, siendo el mes de julio el que registra la máxima precipitación. El suelo es de tipo xerosol háplico y la vegetación natural de los alrededores de los ranchos corresponde al matorral desértico y a pastos. La vegetación arbórea remanente del área está conformada por mezquites (*Prosopis laevigata*), huizaches (*Acacia farnesiana*) y varios arbustos típicos de matorral semidesértico destacando los nopales *Opuntia spp* y la palma *Yucca filifera*. Se han introducido hace unos años ejemplares de álamo plateado (*Populus alba*) y de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) como barreras rompevientos o para separación de parcelas. Estas características comunes permiten el disponer de parcelas prácticamente homogéneas que, aunque se sitúen en cada una de las fincas aludidas es como si se tratase de un solo rancho (o localidad) a la hora del estudio estadístico de las muestras.

Diseño experimental

En cada una de las áreas señaladas para la experimentación, se pudo disponer de 2 parcelas de 3.000 m², una para alfalfa y otra para maíz. En cada agroecosistema se aplicaron diferentes dosis de biosólidos. Para el caso de la alfalfa se adicionaron lodos a razón de 200 t/ha en el rancho “San José”, 400 t/ha en “la Posta” y 800 T/ha en el

rancho “La Salada”. Para el agroecosistema del maíz se aplicaron 200, 300 y 400 t/ha en los ranchos San José, San Nicolás y La Posta, respectivamente. Se dispuso además de otras dos parcelas una para alfalfa y otra para maíz como controles. Los lodos (las cifras de las dosis en peso húmedo), fueron distribuidos con maquinaria agrícola y mezclados con la capa arable del suelo. Solamente se realizó una aplicación y las parcelas utilizadas para este estudio fueron fertilizadas con abono mineral por última vez un año antes de iniciar estos experimentos y no fue adicionado ningún pesticida.

Figura 1 Diseño experimental



En cada una de las parcelas fueron distribuidas uniformemente 9 trampas pitfall después de un mes en que se habían aplicado los biosólidos, para la recogida de artrópodos edáficos. Se realizaron tres muestreos en los meses de mayo, junio y julio, cuando las condiciones climáticas son las más favorables y la densidad de las poblaciones de la fauna del suelo alcanzan su máximo. Durante una semana de cada mes se tuvo la trampa en el suelo, que contenía alcohol al 50% (actuando como atrayente, como sustancia mortífera y como líquido conservante). Al final de la misma toda la fauna atrapada se llevó al laboratorio para su posterior identificación. Los artrópodos recolectados fueron colocados en frascos con alcohol al 70% para una mejor

conservación hasta su identificación (Flores *et al.*, 2008). Es importante señalar que en los sistemas de alfalfa hubo riego y se realizaron cortes mensuales durante todo el experimento, mientras que el cultivo de maíz fue temporal (aprovechando las lluvias).

Evaluación de parámetros de la comunidad de artrópodos

Para el estudio de la dinámica estacional de las poblaciones de artrópodos se estudiaron las diferentes muestras recogidas a lo largo de dos años consecutivos en agroecosistemas semejantes en el rancho San José: un total de 15 trampas en cada parcela de idénticas dimensiones que las descritas anteriormente. Además, se tomaron 8 muestras de suelo, cuatro sin biosólidos y cuatro con biosólidos, de la capa superficial edáfica (0- 10 cm) de profundidad en las parcelas con alfalfa (en febrero, mayo, agosto y noviembre) y cuatro (dos sin biosólidos y dos con biosólidos) en las de maíz (durante Junio y Septiembre), utilizando un muestreador cilíndrico de 7 cm de diámetro y 10 cm de profundidad. Dichas muestras fueron colocadas en un embudo de Berlesse-Tullgren, durante cinco días, (Griffiths, 1996).

Cada una de las muestras fue procesada en el laboratorio para sus correspondientes identificaciones y medidas de parámetros ecológicos. La riqueza de especies en la comunidad se calculó utilizando las morfoespecies (formas biológicas diferentes de los artrópodos edáficos), los índices de diversidad de Shannon ($H' = -N \log \sum n_i/N$) y de Equitatividad ($E = H'/H'_{\max}$) fueron calculados utilizando también todos los valores de las morfoespecies recogidas utilizándose el paquete estadístico incluido en Brower and Zar (1997).

Con los datos de las morfoespecies que mostraron abundancias ≥ 10 individuos o más, se realizó un análisis de la varianza respecto a la densidad o abundancia que presentaban los grupos taxonómicos identificados. Para ello se utilizó el paquete estadístico Minitab 15 (Minitab, Inc., 2007). Los datos fueron transformados mediante $\ln X+1$ para uniformizar la varianza.

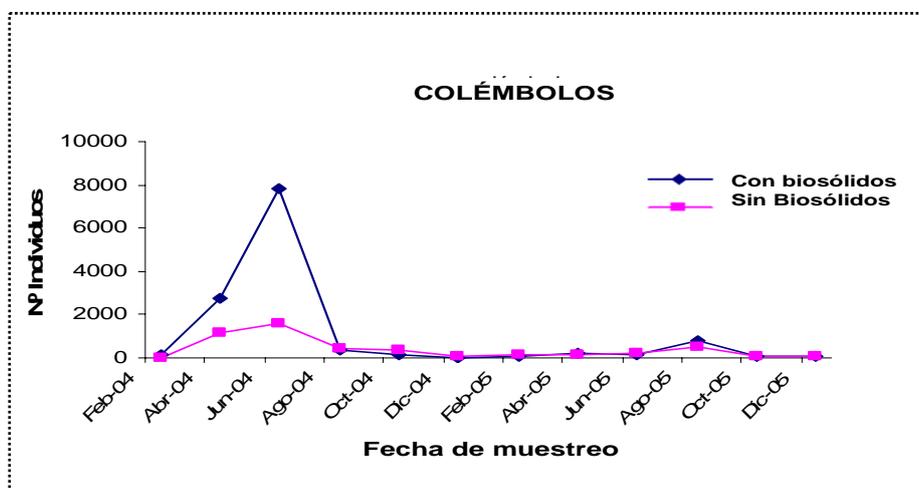
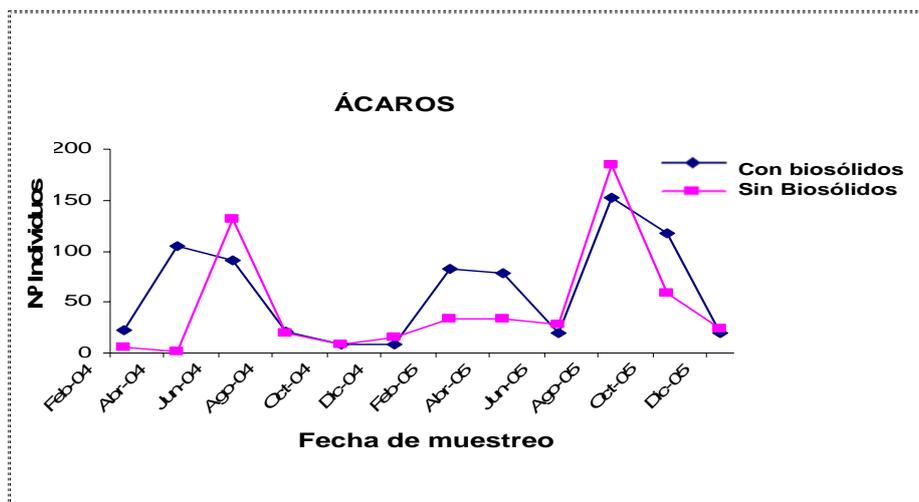
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Dinámica estacional de los principales grupos taxonómicos de artrópodos edáficos

El hecho de conocer que la biodiversidad de artrópodos edáficos en agroecosistemas de alfalfa y maíz aumentaba cuando se aplicaba a los suelos dosis de biosólidos a razón de 200 t/ha (Flores-Padarvé *et al.*, 2008), nos llevó n primer lugar a

hacer un estudio de la dinámica estacional de los principales grupos de esta fauna edáfica en el altiplano mexicano. Para ello nos servimos de los datos registrados por nosotros en el experimento al que se alude en el trabajo citado. Así, con un total de 24 observaciones para el caso del agroecosistema de alfalfa y de 12 para el del maíz, obtenidos de los muestreos llevados a cabo a lo largo de los dos años consecutivos (2004-05) de la aplicación de 200 t/ha de biosólidos, se obtuvieron los resultados que se muestran en las figuras 2 y 3. Ellos han permitido centrarse en aquellos meses del año en que se podrán estimar los parámetros ecológicos de los principales grupos taxonómicos de los artrópodos en los escenarios considerados (mayo, junio y julio), periodo de lluvias.

Figura 2. Dinámica estacional de las poblaciones de los principales grupos de artrópodos en el suelo con cultivo de alfalfa al que ha sido aplicado biosólidos a razón de 200 t/ha (peso húmedo)



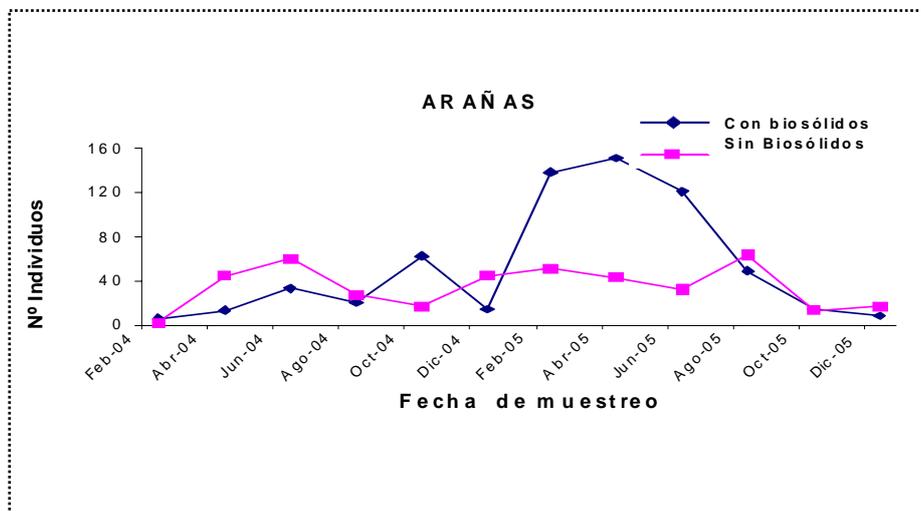
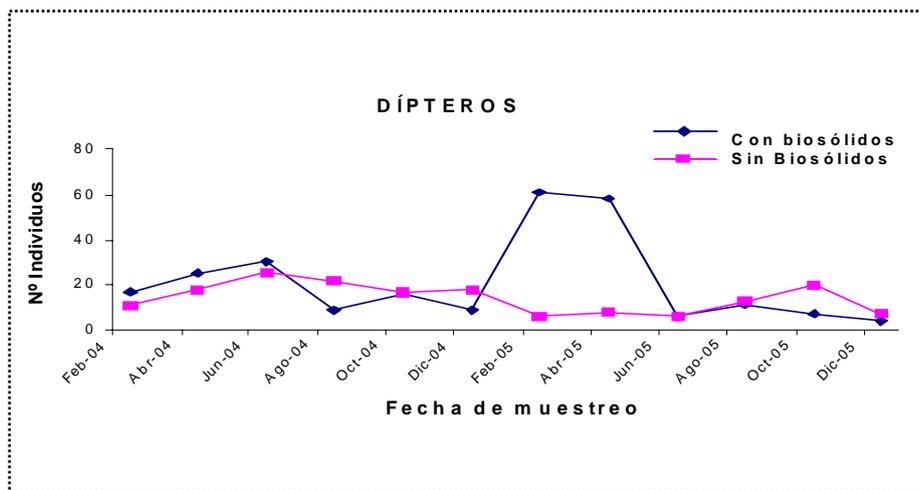
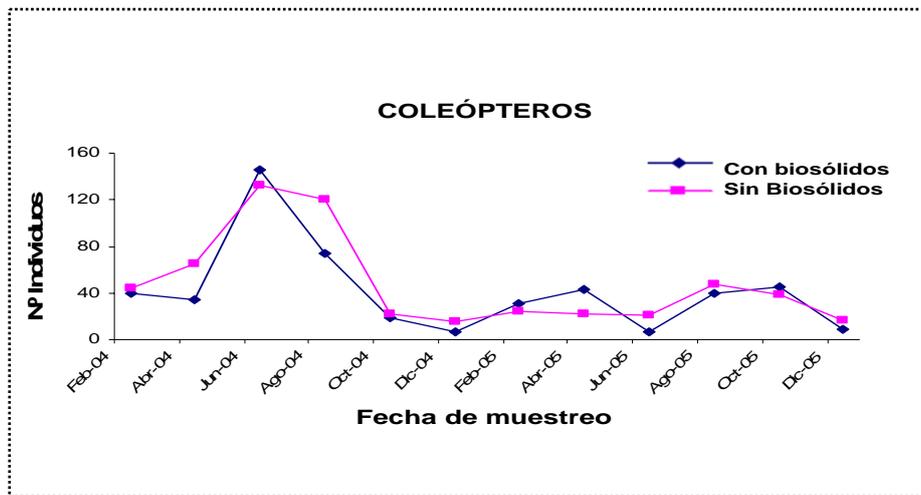
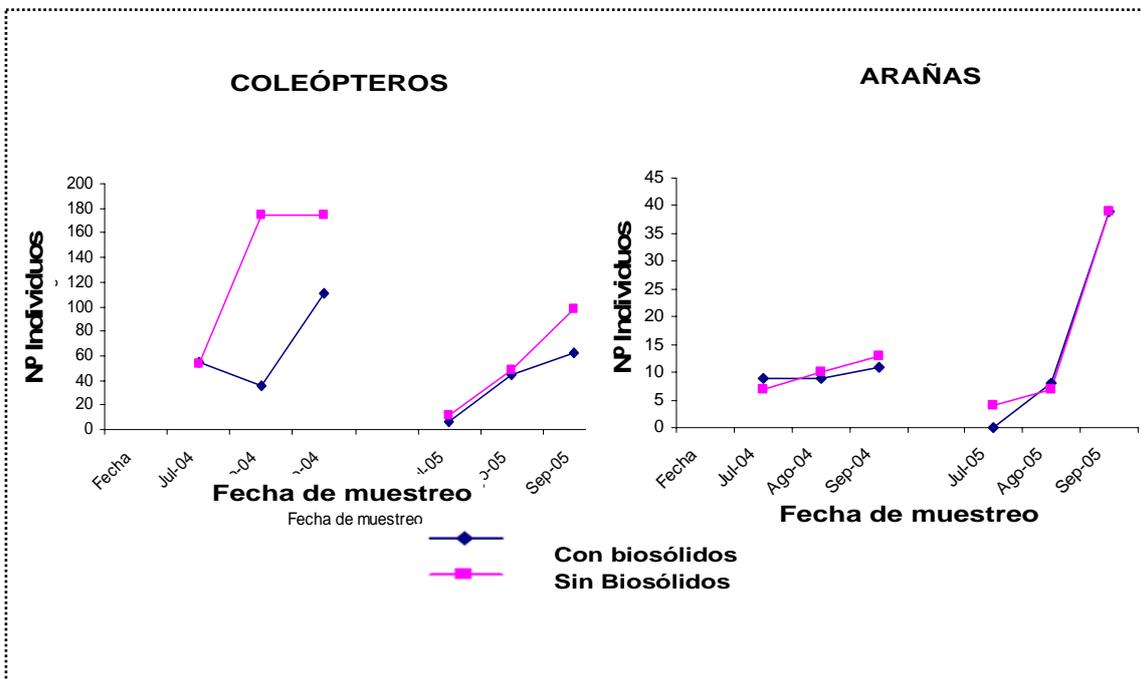
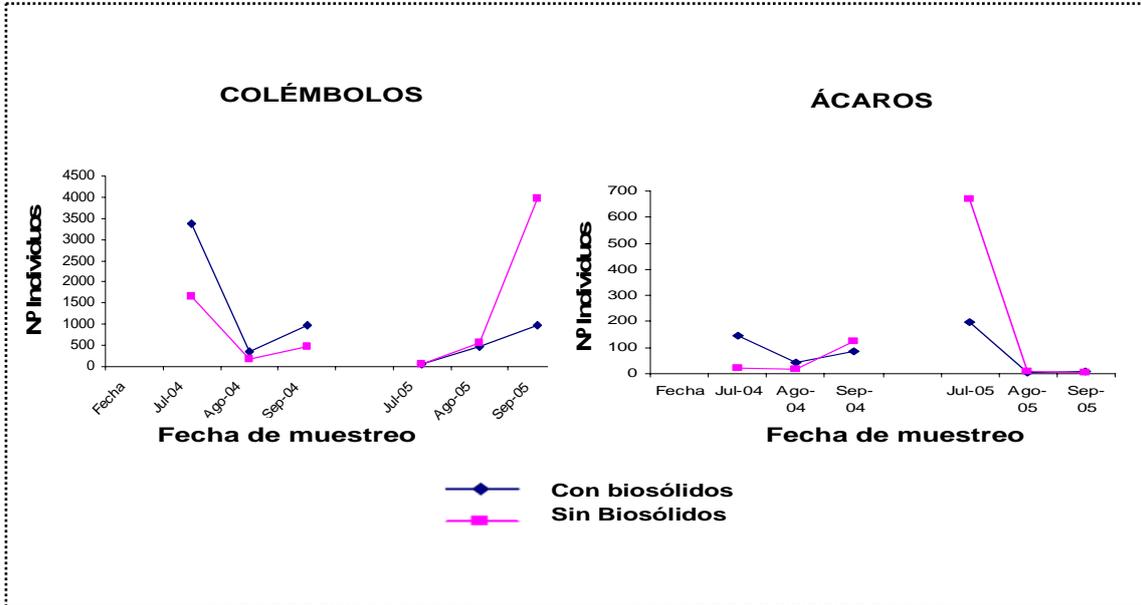
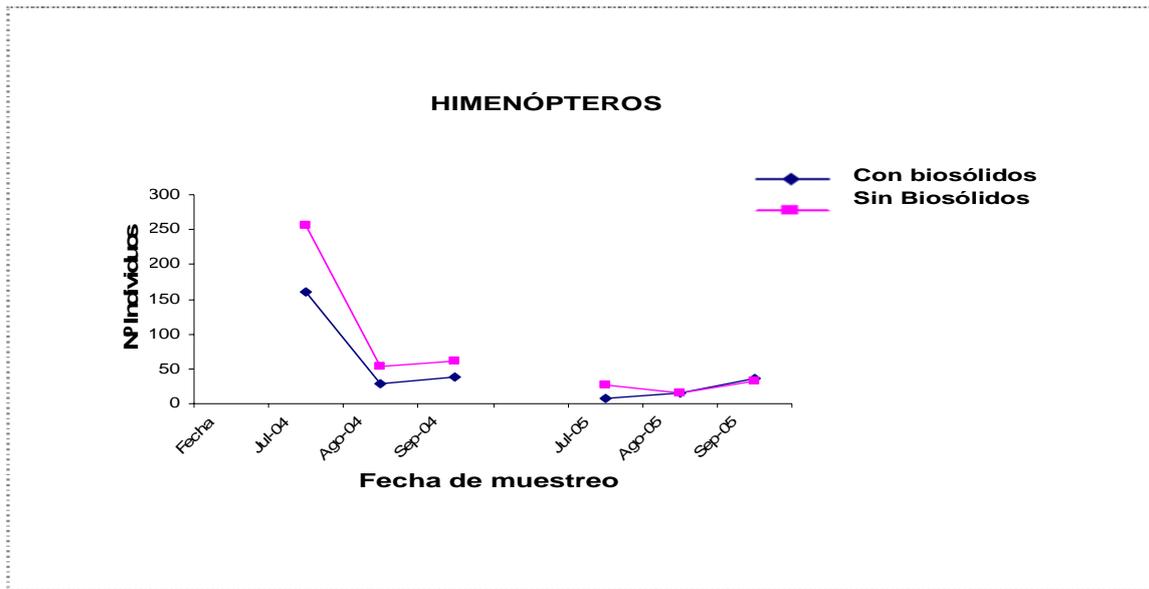


Figura 3. Dinámica estacional de las poblaciones de los principales grupos de artrópodos en el suelo del **maíz** al que ha sido aplicado biosólidos a razón de 200 t/ha (peso húmedo)





2. Diferencias en las técnicas de recogida de muestras

La captura de artrópodos del suelo con las trampas pitfall resulta muy eficiente. A lo largo del tiempo considerado para la estimación de la dinámica estacional de estos organismos (ver figuras 2 y 3), se recolectaron 280 y 148 morfoespecies en el agroecosistema de alfalfa y en el del maíz respectivamente, de las cuales aproximadamente entre el 20% y el 26% de todas las diferentes formas biológicas de estos artrópodos fueron las que mostraron densidades mayores a 10 individuos. Este resultado está en consonancia con los ya confirmados por Odum (1972), Margalef (1980), Magurran (1988) y Krebs (2001), al decir de muchas especies presentes, tanto en ecosistemas acuáticos como en ecosistemas terrestres, exhiben densidades muy bajas

En general, después de seis semanas de aplicación de los biosólidos al suelo, se suele tener una buena representación de los artrópodos del mismo, y por tratarse de medios tropicales, los meses de lluvias (mayo, junio y julio especialmente) son idóneos para su muestro. Esta cuestión nos facilitó el diseño del nuevo experimento en campo relacionado con la temática que estudiamos, ya que se tuvo en cuenta para poder suministrar los biosólidos al suelo en tal momento que nos permitiera realizar una mejor recogida de los artrópodos.

La comparación de las especies colectadas con los diferentes métodos empleados se expone en la tabla 1. Destaca el menor número de especies cuando se utiliza el embudo Berlese-Tullgren, ya que el área del muestreador es menor y sólo se atrapa a los microartrópodos dominados por ácaros y colémbolos. Podemos afirmar que

ese método de muestreo reduce considerablemente el número de taxa. A continuación haremos algunas consideraciones relativas a los principales grupos de estos invertebrados edáficos.

Tabla 1 Comparación de la fauna de artrópodos (N° de morfoespecies) del suelo con la enmienda de 200 t/ha de biosólidos en los agroecosistemas de alfalfa y maíz capturada con trampas pit fall y con muestreador de suelo extraída mediante el embudo Berlese-Tullgren

Orden	Alfalfa		Maíz	
	Pitfall	Berlese-Tullgren	Pitfall	Berlese-Tullgren
Acarina	18	11	10	6
Aranae	43	0	14	0
Chilopoda	1	0	1	1
Collembola	8	4	8	4
Coleoptera	109	11	61	6
Dermaptera	3	0	3	0
Diplopoda	1	0	-	-
Diptera	39	17	29	9
Hemiptera	1	0	-	-
Homoptera	24	2	8	1
Hymenoptera	24	5	24	5
Isopoda	1	1	1	1
Lepidoptera	2	0	-	-
Opilionida	1	0	1	0
Orthoptera	6	0	3	0
Thysanoptera	1	1	1	1
Trichoptera	1	0	-	-

Las diferencias de la fauna de artrópodos recogida con trampas pitfall y con el muestreador de perfiles de suelo, no solo estuvieron determinadas por el método de captura, sino que también influyen el número de muestreos realizados. La comparación de los diferentes muestreos se realizó con el mismo número de muestras en los dos agroecosistemas y la variedad de taxones. La abundancia registrada con el primer método (trampas) se debió a que el periodo de muestreo fue más amplio y se permitió

que, tanto especies que viven sobre la superficie o por debajo de ella quedaran atrapadas en dichas trampas. Pero cuando se utiliza el muestreador se atrapan más organismos que viven debajo de la superficie que sobre ella, con lo que el número de especies colectadas con este método fue menor, como era de esperarse, siendo los ácaros y los colémbolos los mejor representados, aunque también se encontraron varios dípteros, y algunos coleópteros. Para estudios de carácter global ambas técnicas resultan complementarias.

3. Efectos de los biosólidos aplicados a suelos sobre parámetros de la comunidad de artrópodos

Los ácaros son sin duda los artrópodos más abundantes en los suelos con mayor dosis de biosólidos aplicados (tabla 2), alcanzando densidades muy por encima a las que se encuentran en los controles para ambos agroecosistemas. Así mismo, los colémbolos sería el siguiente grupo más representado, si bien la densidad de sus poblaciones disminuye drásticamente a partir de la aplicación de 400 t/ha. En el caso de la alfalfa. Nuestros resultados están de acuerdo con los expresados por Parisi et al. (2005) cuando dicen que la aplicación de lodos no reduce la biodiversidad de los microartrópodos del suelo.

En el agroecosistema de alfalfa se observó que la riqueza y la abundancia aumentan con las dosis de 200 y 400 t/ha. Sin embargo, con la dosis de 800 t/ha disminuyen; pero la diversidad y la equitatividad aumentan en comparación con las otras dosis (tabla 2). Para el caso del maíz algo muy similar se observó también, ya que hubo un incremento de la riqueza con la aplicación de 200 t/ha y posteriormente un descenso de la misma. Lo mismo ocurre para la abundancia, la diversidad y la equitatividad. Una posible explicación de este hecho es que con 200 y 400 existen pocas morfoespecies pero esas tienen abundancias muy altas (por ejemplo los Colémbolos pueden abarcar el 70% de la abundancia total); con lo cual, a pesar de que la riqueza sea alta, la abundancia del resto de las morfoespecies es baja. Por el contrario, con 800 t/ha de lodos residuales aplicados al suelo de alfalfa ninguna de las morfoespecies tiene abundancias muy altas sino que este atributo de las poblaciones está repartido entre todas las morfoespecies.

Esta última cuestión lo demuestra mejor el índice de equitatividad, ya que toma en cuenta la riqueza y la diversidad de especies. Al ser un índice que va de 0 a 1, cuanto más se acerca a la unidad, hay menor diferencia entre las abundancias de la diferentes morfoespecies, es decir hay una mayor estabilidad en la comunidad. Por ello, podemos

decir que la estabilidad de la comunidad de artrópodos en el suelo del maíz es menor cuando a éste se le aplican dosis altas de lodos residuales, mientras que dicha tendencia no es tan clara respecto al agroecosistema de alfalfa, probablemente por el impacto que le produce los sucesivos cortes del forraje.

Tabla 2. Riqueza, abundancia de artrópodos del suelo, índices de diversidad y equitatividad de Shannon en agroecosistemas de alfalfa y maíz sin y adicionados con 200, 300, 400 y 800 T/ha de biosólidos.

ALFALFA				
Parámetros	CONTROL	200 t/ha	400 t/ha	800 t/ha
Riqueza	41,00 ± 11,53	49,00 ± 16,52	54,00 ± 11,53	39,33 ± 2,08
Abundancia	457,78 ± 524,35	4.733,0 ± 3870,3	18.352,3 ± 26.534,8	888,67 ± 661,95
Diversidad	2,33 ± 0,16	1,82 ± 0,92	1,68 ± 1,74	3,13 ± 1,08
Equitatividad	0,43 ± 0,03	0,34 ± 0,20	0,28 ± 0,28	0,59 ± 0,22
MAÍZ				
	CONTROL	200 T/ha	300 T/ha	400 T/ha
Riqueza	48,0 ± 6,00	49,33 ± 8,62	43,67 ± 13,61	33,33 ± 8,62
Abundancia	1.190,0 ± 414,79	1.966,6 ± 1.946,5	27.703,6 ± 25.896,0	1.380,3 ± 780,58
Diversidad	2,70 ± 0,40	2,23 ± 0,85	0,63 ± 0,79	1,99 ± 0,25
Equitatividad	0,48 ± 0,05	0,37 ± 0,16	0,06 ± 0,16	0,39 ± 0,07

Debido a la complejidad de la fauna edáfica, generalmente los investigadores estudian uno o pocos taxa presentes en el suelo, por lo que es difícil comparar los resultados aquí obtenidos con los realizados por otros investigadores, sin embargo sí es posible comentar algunas coincidencias y diferencias con los trabajos revisados. Por ejemplo, con relación a los ácaros Behan-Pelletier (1999) y Ruf *et al.* (2003) señalan que mientras los oribátidos dominan en suelos de bosques, los Mesostigmata (gamásidos), Prostigmata y Astigmata están mejor representados en suelos agrícolas, ya que colonizan rápidamente nuevos sitios y pueden explotar microhábitats restringidos. En nuestro caso, de las ocho especies que hemos llegado a computar en este grupo, solamente una, la más abundante, fue precisamente Oribatida, como también ha

señalado Al-Assiuty *et al.* (2000). Estos últimos autores han afirmado que la intensidad del efecto de lodos residuales sobre los artrópodos de suelo estuvo fuertemente correlacionada con la dosis, y señalaron que los oribátidos y alguna de las especies de colémbolos podrían servir como bioindicadores para evaluar el efecto de la aplicación de los lodos en este hábitat terrestre.

Los coleópteros es un grupo que suele estar bien representado en los agroecosistemas, pero en nuestro caso, solamente muy pocas morfoespecies del mismo fueron recogidas en los muestreos de dos años. Thomas & Marshall (1999), realizando un estudio en el Reino Unido en campos con cereales y praderas para comparar la biodiversidad dentro del cultivo y en los alrededores, encontraron 67 especies de coleópteros carábidos a lo largo del estudio, aunque también hablan de solamente 15 especies dentro del cultivo. Notaron, al igual que nosotros, como puede observarse en la figura 1, que las diferencias significativas en el número de especies de este grupo se dan principalmente por factores climáticos. Nuestras observaciones también podrían expresarse de la misma manera, con lo que estos dos factores ambientales pueden ser más importantes para los coleópteros que el hecho de que en los primeros cm del suelo tengan más M.O. como consecuencia de la adición de biosólidos. Incluso, a juzgar por los datos expuestos en la tabla 2, pensamos que sigue siendo mayor el efecto de la época del muestreo que la acción de los biosólidos.

Junto a los carábidos, los estafilínidos fueron también algunos de los artrópodos que mostraron mayor abundancia, tanto en los agroecosistemas de alfalfa como de maíz, resultado que confirma lo ya señalado por Bohac (1999).

Los himenópteros capturados fueron mayoritariamente hormigas pertenecieron a las familias Formicidae y Myrmicinae, aunque se colectaron algunas avispas. En los agroecosistemas, su diversidad se ve disminuida por las actividades de labranza (Flores-Pardavé, et al., 2008), ya que generalmente dañan su hábitat. Algunas especies de la familia Myrmicinae, que son generalistas por su flexibilidad en el tiempo de forrajeo y en sus requerimientos alimenticios (Lobby de Bruyn, 1999), se encuentran en algunos agroecosistemas, como se encontraron en este estudio. De todas formas cabe señalar que en el agroecosistema de alfalfa la densidad de la hormigas fue menor que en el maíz.

Es bien conocido el hecho de que son pocos los dípteros los que están permanentemente en el suelo. No obstante, la mayoría pasan una parte de su ciclo de vida en este hábitat, especialmente el estadio de larva. Al igual que ocurre para la generalidad de los grupos que integran la fauna edáfica, los factores que afectan la

distribución de los dípteros en el suelo son la entrada de materia orgánica, si bien las densidades de sus poblaciones pueden tener amplios rangos dependiendo del tipo de agroecosistema. (Frouz, 1999). El número de especies en cultivos puede ser muy variable. Así, se han citado desde 2 especies en un cultivo de maíz en Italia hasta 102 en uno de trigo en el Reino Unido: Pero además, su densidad también es variable, desde 338 individuos/m² registrados en un cultivo de cebada, hasta 2536 individuos/m² en un campo de alfalfa, ambos en Suecia, según se muestra en el trabajo citado. Las familias mejor representadas en dicho trabajo fueron Cecidomyiidae, Chironomidae y Sciaridae y ninguna de ellas está representada en los agroecosistemas estudiados por nosotros. Es muy posible que las diferencias climáticas sean responsables de este hecho. No obstante, en el estudio realizado por Flores et al. (2008) el rango observado a lo largo de dos años en el agroecosistema de alfalfa varió entre 227 y 4313 individuos/m², y la densidad fue mayor en las parcelas con la dosis de biosólido adicionado.

Tabla 3. Análisis de la varianza de los artrópodos de suelos de las parcelas donde se sembró maíz, tratados o no, con cantidades crecientes de biosólidos. (F = fiable significativo al 90%)

Parámetros		F	Significación
Abundancia	Inter-grupos	5,820	,021*
Diversidad	Inter-grupos	6,093	,018*
Riqueza	Inter-grupos	1,704	,243

En el estudio de los artrópodos de los suelos todas las parcelas, donde se sembró alfalfa, tratados o no con cantidades crecientes de biosólidos, se realizó un análisis Anova utilizando un método de comparación múltiple post hoc (DMS, diferencia menos significativa), para evaluar el efecto de las cantidades aplicadas sobre los parámetros estudiados, pero no se vio ninguna diferencia significativa, con lo que prueba también la homogeneidad de las parcelas contempladas en este ensayo de campo, como se aludía en el epígrafe de material y métodos. Para las parcelas del maíz, sin embargo, se muestran algunas diferencias significativas (tabla 3)

CONCLUSIONES

Se observó en las dinámicas de población de los principales grupos de artrópodos edáficos (ácaros, colémbolos, coleópteros, dípteros y arañas) un incremento de las abundancias en la época de verano (de abril a julio principalmente), tanto en los agroecosistemas de alfalfa como de maíz; ello permite centrarse en ese período para la realización de los muestreos de la fauna de artrópodos en clima tropical, implicando que debe incorporarse al suelo los lodos residuales al menos 6 semanas antes si se desea estudiar su efecto sobre este componente edáfico. Así mismo, se recoge un menor número de morfoespecies con embudos Berlesse-Tullgren que con trampas pitfall en los dos agroecosistemas. Solamente entre el 20 y el 26% de todos los de artrópodos edáficos muestran densidades mayores a 10 individuos, como suele ocurrir en los distintos ecosistemas. Todas estas características deben ser tenidas en cuenta antes de evaluar cualquier tipo de acción o enmienda en los agroecosistemas en relación a los artrópodos edáficos.

La riqueza y la abundancia de artrópodos en el agroecosistema de alfalfa aumentan con aplicaciones de biosólidos a razón de 200 y 400 t/ha. Sin embargo, con la dosis de 800 T/ha disminuyen, la diversidad y la equitatividad aumentan en comparación con las otras dosis. No obstante, no se han observaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos de artrópodos con los diferentes tratamientos. Para el caso del maíz, también se observó un incremento de la riqueza de artrópodos con 200 t/ha de biosólidos aplicados al suelo, aunque este parámetro disminuye con aplicación de una dosis más alta. Sin embargo hay diferencias significativas en la abundancia y la diversidad respecto a las diferentes tratamientos considerados.

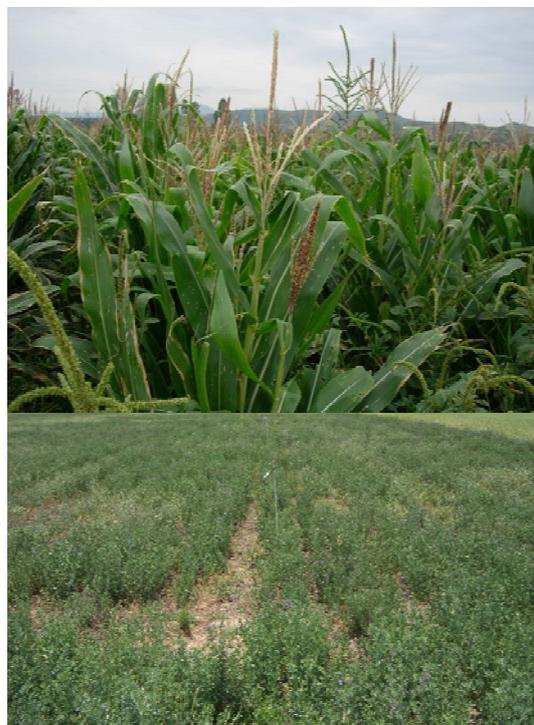
Agradecimientos: Al Apoyo financiero de la Universidad Autónoma de Aguascalientes a través de los proyectos de investigación PIT 04-1 “Estudio de las características de los residuos sólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Aguascalientes y su impacto en el ambiente” y al Proyecto PIT 07-1 “Estudio del impacto de los biosólidos sobre los artrópodos edáficos y la biota acuática”

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Assiuty, A.I. M., M.A. Khalil & H.M. Abdel-Lateif. 2000. Effects of dry sludge application on soil microarthropod communities in a reclaimed desert ecosystem. *Pedobiologia*, 44: 567-578.
- Brower, J.E., Zar, J.E. & von Ende, C. N. 1997. Field and Laboratory Methods for General Ecology. 4th ed. WCB Mc Graw Hill. 273 p.
- Behan-Pelletier V.M. 1999. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 411-423.
- Bohac, J. 1999. *Staphylinid beetles as bioindicators*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 357-372.
- Díaz-Serrano, F.R., M. E. Romero & M. Webber. 1997. *Experiencias en el manejo de lodos residuales municipales en agricultura en Guanajuato*. Memoria del XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tab. México.
- Flores, T. F.J. & Flores, L 2005. Los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes: Características y usos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 33: 4-11.
- Flores-Padervé, L., J.; Escoto, J.; Flores-Tena, F.J. & Hernández, A. J. 2008. Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* , 40: 11-17.
- Forste, J. B. 1996. *Land application in M.J. Girovich (ed) Biosolids treatment and management*. Processes for beneficial use. Marcel Dekker. New York 389-448.
- Frouz, J. 1999. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 167-186.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. 2002. *El uso de biosólidos en la agricultura*. Fichas tecnológicas. INIFAP. México.
- Lobry de Bruyn, L.A. 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 425-441
- Luna, M. L.; Vega, M. O.; Vásquez, F.; Trujillo, N.; Ramírez, E. & Dendooven. L. 2002. *Actividad microbiana en suelos*. *Avance y Perspectiva*, 21: 328-332.
- Minitab, Inc. 2007. Meet Minitab 15. Statistical Software. State Coll. Pa.

- Robledo, E., L. Corlay, J. Pineda, E. Álvarez & A. Ponce. 2001. Characterization and agricultural application of sewage sludge. ASAE Paper No. 01-2283 St Joseph, Mich.: ASAE.
- Ruf, A., L. Beck., P. Dreher., K. Hund-Rinke., J. Römbke & J. Spelda. 2003. A biological classification concept for the assessment of soil quality: "biological soil classification scheme" (BBSK). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98: 263-271.
- Salcedo-Pérez, E., Vázquez-Alarcón, A, Krishnamurthy, I, Zamora-Natera, F, Hernández-Álvarez, E. & Rodríguez-Macías, R. 2007. Evaluation of sewage sludge as an organic fertilizer in volcanic soils of agricultural and forestal use in Jalisco. *Interciencia*, 32 (2): 115-120.
- Thomas, C.F.G. & E.J.P. Marshall. 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 72: 131-144.

ESTUDIO COMPARATIVO DE PRÁCTICAS HABITUALES EN
AGROECOSISTEMAS FORRAJEROS MEXICANOS:
EFECTOS SOBRE LOS ARTRÓPODOS DEL SUELO Y
LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE



ESTUDIO COMPARATIVO DE PRÁCTICAS HABITUALES EN AGROECOSISTEMAS FORRAJEROS MEXICANOS: EFECTOS SOBRE LOS ARTRÓPODOS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE

RESUMEN

En la producción de forraje de agroecosistemas de alfalfa y de maíz no se tiene en cuenta la evaluación de aquellas prácticas agrícolas que pueden dificultar o favorecer a la fauna del suelo. Este trabajo aborda esta cuestión mediante un ensayo experimental llevado a cabo en el estado mexicano de Aguascalientes. Se estudia el efecto de prácticas habituales (corte de malezas y fertilización química de N y P), además de otras emergentes (aplicación de biosólidos), tanto para un cultivo perenne (alfalfa), como para uno temporal (maíz), en las poblaciones de artrópodos del suelo. Así mismo, se han evaluado las relaciones entre la abundancia de los principales grupos de artrópodos con la producción de forraje según el manejo utilizado. Por último, la aplicación de biosólidos al suelo de los dos agroecosistemas aumenta la productividad de los cultivos y ella está relacionada de forma significativa con la abundancia de colémbolos que se produce por utilizar dicha enmienda orgánica.

Palabras clave: fertilidad, biosólidos, fauna edáfica

ABSTRACT

Forage production from alfalfa and corn agroecosystems is not taken into account the evaluation of agricultural practices that may hinder or advantage soil fauna. This work approach through a experimental test executed in the Mexican state of Aguascalientes. We study the effect of practices (cutting weeds and chemical fertilizer N and P), and other emerging (application of biosolids), for a perennial crop (alfalfa) and for a temporary crop (corn), in populations arthropod soil. Also, we have evaluated the relationship between the abundance of principal groups of arthropods with the production of forage and used management. Finally, the application of biosolids to the

soil of the two agroecosystems increases the productivity of crops, this is significant related with springtails abundance due to organic amended by biosolids addition.

Keywords: fertility, biosolids, soil fauna

INTRODUCCIÓN

Para obtener buenos rendimientos de forraje, en el territorio de la zona centro de México se tiene en cuenta principalmente el régimen de lluvias. Por eso hablamos de cultivos perennes, como la alfalfa, y de temporal como el maíz, que se siembra y recoge durante el ciclo primavera-verano correspondiente al periodo de mayor precipitación en el altiplano mexicano. No obstante, son muchos los años en que la sequía es un factor limitante para la producción y se recurre al riego de estos dos cultivos (sea alfalfa o sea el maíz), empleando muchas veces ahora agua procedente de plantas de tratamiento de aguas residuales. Otra práctica habitual es la fertilización mineral, fundamentalmente de N y de P, en los suelos de estos dos agroecosistemas, ya que estos cultivos extraen continuamente dichos nutrientes del suelo. En la actualidad la aplicación de lodos residuales trata de aportar también fertilización al sistema. Por otra parte, lo habitual es eliminar la maleza (“malas hierbas”) generalmente con herbicidas, aunque para el caso del agroecosistema de alfalfa, al procederse un corte mensual de la misma, también se eliminan algunas de estas especies. Por último, se suelen aplicar insecticidas en estos agroecosistemas tropicales con el fin de no tener plagas que afecten a la producción.

Como se puede deducir, en la producción de forraje no se tiene en cuenta aquellas prácticas que pueden dificultar o favorece a la fauna del suelo. Además, el hecho de que la productividad de cualquier agroecosistema esté relacionada con los componentes de la fertilidad de los suelos donde se ubican y, conociendo el aporte que la aplicación de lodos residuales supone al incremento de dicha fertilidad, nos proponemos abordar en este trabajo el estudio de las cuestiones referidas.

MATERIAL Y MÉTODOS

a) Características de la finca experimental

El Área Agrícola donde se ha realizado el ensayo experimental pertenece a la Posta Zootécnica del Centro de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (México). Está ubicada aproximadamente a 15 km al noroeste de Ciudad Universitaria en el municipio de Jesús María. Comprende una superficie de

100 hectáreas y cuenta con la infraestructura hidráulica y el equipamiento necesario para brindar un apoyo determinante y prioritario a las actividades sustantivas de los programas curriculares, en especial al de Ingeniero Agrónomo. Pero también se caracteriza por desarrollar un proyecto productivo permanente haciendo un uso más eficiente de los recursos humanos y materiales y generando ingresos para el funcionamiento de la misma. Está constituida en su mayoría por un suelo de bajo espesor, con problemas de salinidad y baja retención de humedad, con lo que hace a esta finca ser representativa de la realidad edáfica del altiplano mexicano. Se encuentra en Valle de Aguascalientes, a una altitud de 1914 m y tiene clima semiseco semicálido. La vegetación natural de los alrededores de las parcelas de cultivo corresponde a especies de matorral desértico y de pastizal natural: mezquites (*Prosopis laevigata*), huizaches (*Acacia farnesiana*), y varios arbustos típicos de matorral semidesértico destacando los nopales *Opuntia spp.* y la palma *Yucca filifera*.

Los recursos hídricos son limitados en esta finca como al igual de todo el territorio, pero suficientes gracias al uso eficiente de los mismos. De las 100 ha que tiene, 75 están abiertas al cultivo, aunque solo se pueden regar a la vez un promedio de 55 ha. Se producen diferentes tipos de cultivos, tanto forrajeros como hortícolas y frutales; sin embargo, son los forrajeros los que ocupan la mayor superficie de la misma (25 ha de maíz y cebada, 10 ha de sorgo y 7 ha de alfalfa).

b) Diseño experimental y recogida de muestras

Se establecieron 4 parcelas experimentales de 3000 m², una adicionada con biosólidos y otra sin ellos para cada uno de los sistemas forrajeros que estudiamos (alfalfa y maíz). Los lodos se distribuyen uniformemente y se mezclan con la capa arable del suelo. En cada una de estas parcelas se acordonaron 6 unidades de 20 m², a tres de ellas se les retira siempre la maleza (malas hierbas) y a las otras tres se les permitió que crecieran (en el caso de la alfalfa hasta el nuevo corte), (figura 1). En cada una de estas unidades se establecieron 3 puntos de muestreo colocándose durante una semana (en cada uno de los meses en que fue muestreada la fauna de artrópodos), una trampa *pitfall* que contenía alcohol al 50% (actuando como atrayente, como sustancia mortífera y como líquido conservante). Un muestreo se realizó en cada uno de los meses de mayo, junio y julio de 2008.

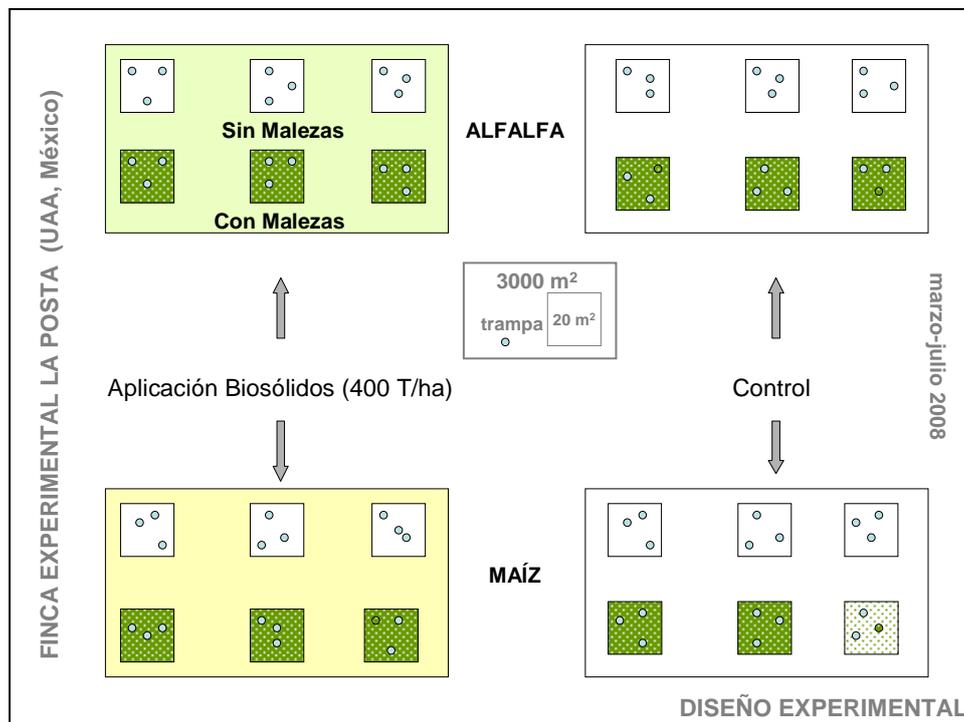
Los artrópodos recolectados fueron colocados en frascos con alcohol al 70% para una mejor conservación y trasladados al laboratorio según el procedimiento descrito por Bater (1996). Se realizaron tres muestreos en los meses de mayo, junio y julio, cuando

las condiciones climáticas son las más favorables y la densidad de las poblaciones de artrópodos edáficos es mayor.

Las malezas presentes en los cultivos fueron inventariadas con el apoyo de los trabajos de Calderón y Rzedowski (2001), De la Cerda (1996) y García (2004). Y para estimar la productividad en cada agroecosistema se cortó a ras de suelo un m^2 de y se pesó la biomasa vegetal de cada cultivo (Kg/m^2). En el caso de la alfalfa el corte se realizó en cada uno de los muestreos y en el caso del maíz solo al final.

Los biosólidos provenientes de la planta tratadora de aguas residuales de Aguascalientes fueron aplicados al suelo en una dosis de 400 t/ha de peso húmedo, que equivale a 80 t/peso seco. Se adicionaron a la vez en las parcelas seleccionadas para la experimentación (mes de abril de 2008). Para el caso de la alfalfa se hizo la adición después de un corte de la misma y para el caso del maíz, cuatro semanas antes de proceder a su siembra. La recogida de muestras de artrópodos se llevó a cabo durante un período de tres meses, de mayo a julio

Figura 1. Diseño experimental



Las parcelas utilizadas para este ensayo fueron fertilizadas con abono químico por última vez un año antes de iniciar la experimentación referida. No obstante, al ubicarse en suelos que habían tenido este tratamiento, consideramos tenerlo en cuenta

para la interpretación de resultados relativos a la productividad de dichos agroecosistemas. Por ello señalamos a continuación la composición de los fertilizantes utilizados que, por otra parte, son los habituales en las prácticas agrícolas de este territorio. Para el caso de la alfalfa se le aplican 100 Kg de 18-46-00 / ha (18 unidades de N, 46 unidades de P como fosfato monoamónico y 0 de K) cada 6 meses, Para el maíz se aplica el fertilizante a razón de 180 unidades de N y 80 de P/ha.

Fueron recogidas también muestras de suelo en cada una de las parcelas después de transcurridas cuatro semanas de la aplicación de los biosólidos; dichas muestras fueron el resultado de 15 submuestras de 200 g tomadas al azar en los 5 primeros cm. de la parte superior del suelo mediante sonda, que es el nivel donde se encuentra la mayor densidad de la fauna edáfica.

c) Análisis químicos

Una muestra de 5 Kg de biosólido fue secada a la sombra, y una vez seca se realizó el análisis químico de los principales parámetros relacionados con la fertilidad del suelo mediante las técnicas señaladas por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Las muestras de suelo también fueron secadas a T^a ambiente, y una vez secas fueron tamizadas con una malla de 2 mm y se procesaron para el análisis de la fertilidad y salinidad.

e) Tratamientos numéricos

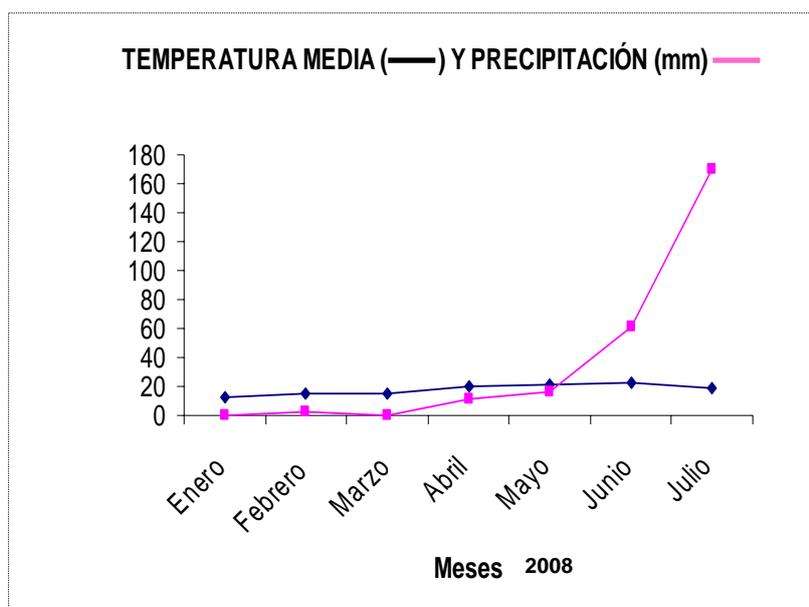
La abundancia total de artrópodos fue calculada utilizando todos los datos de las morfoespecies. Con aquellas que mostraron abundancias de 10 individuos o más, se realizó un análisis de la varianza entre las poblaciones. Debido a la heterogeneidad de los valores fue necesario la transformación de los datos mediante la fórmula $\ln X+1$ con el fin de uniformizar los valores. Se realizó un análisis de la varianza de dos vías, para conocer si hubo diferencia entre los diferentes tratamientos y la productividad de los cultivos, así como entre los tratamientos y la abundancia de los principales grupos taxonómicos de artrópodos edáficos. El índice de diversidad de Shannon (H') fue calculado utilizando todos los valores de las morfoespecies recolectadas en el estudio. Para el cálculo de los índices de similitud de Sorensen entre los diferentes cultivos y las unidades de muestreo (localidades), se considerado solamente aquellas muestras con abundancias ≥ 10 individuos. Para ambos índices se utilizó el paquete estadístico incluido en Brower and Zar (1997). También se determinó el coeficiente de correlación entre los principales grupos de artrópodos y los parámetros climáticos de T^a y

precipitación, así como con la productividad de los cultivos. Para todos los análisis numéricos se utilizó el paquete estadístico Minitab 15 (Minitab, Inc., 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestra en la figura 1 los datos relativos a los parámetros climáticos durante el periodo en que fue realizado este ensayo en campo, y la composición química de los lodos aplicados y de los suelos de los dos agroecosistemas forrajeros que se estudian en la tabla 1. Aunque se trata de un ensayo de corto tiempo de duración y los efectos del aumento de fertilidad del suelo por la acción de los lodos deberían haber sido evaluados más tarde, una vez que también hubieran hecho efecto las lluvias caídas al final del experimento, podemos hacer algunas consideraciones que señalamos a continuación

Figura 1. Parámetros climáticos en la Finca Experimental La Posta Zootécnica durante el periodo de estudio



Cuando la razón C/N es menor de 30, como ocurre para el caso de nuestro estudio (tabla 1), podemos decir que la mayor parte del N está en forma orgánica y se mineraliza lentamente a amonio o nitrato. Así pues, el valor agronómico del compost de aguas residuales (en torno a un 1% de N), dependerá del grado de evolución del mismo (Soler et al., 1999). Obsérvese también en dicha tabla cómo el N total del suelo control y el inorgánico para el agroecosistema de alfalfa es mayor al que se presenta en el suelo control del maíz, como puede ser consecuencia de la fijación del N atmosférico por

parte del cultivo de la leguminosa. Y también hay un incremento de P en los suelos adicionados con los lodos residuales. El aumento de N y P por la incorporación de estos residuos orgánicos estimulan las poblaciones de microartrópodos, como son los colémbolos (ver tablas 2 y 3). Resultados semejantes han sido expuestos en el trabajo de Petersen et al (2003)

Los conteos de los artrópodos del suelo en un total de 27 muestras procesadas por tratamiento dieron como resultado la presencia de 171 morfoespecies en el total de parcelas de alfalfa y 166 para el caso del maíz. En las tablas 2 y 3 se observa que bajo las prácticas agrícolas realizadas, la abundancia de artrópodos fue mayor por lo general en el mes de julio, coincidiendo con los valores más altos de la precipitación. La presencia de maleza no afectó de la misma manera en los diferentes meses, tuvieron los suelos adición o no de biosólidos.

Tabla 1. Características químicas de los lodos aplicados a las parcelas experimentales y de los suelos después de 4 semanas de aplicación de los mismos.

PARÁMETRO	Suelo control	lodo	Suelo alfalfa + lodo	Suelo maíz + lodo
Ph	8,15	6,47	7,6	8,0
M. O. (%)	0,9	34,3	2,6	2,0
N total (%)	0,09 (Maíz) 0,24 (Alfalfa)	2,82	0,17	0,09
C:N	n.d.	7,1:1	9:1	13,3:1
P total (%)	n.d.	1,82	0,32	0,21
N inorgánico (mg/Kg)	66,1	628	631	8,6
P intercambiable “	25,1	586	631	532
K ⁺ “	3.408	2.980	2.886	1.140
Ca ⁺⁺ “	2.292	2.360	155	123
Mg ⁺⁺ “	100	370	26	23

Los grupos taxonómicos que mostraron mayor abundancia fueron los colémbolos, ácaros, coleópteros, dípteros, hemípteros, himenópteros y arañas, en ambos agroecosistemas. El análisis de la varianza para conocer si la presencia de biosólidos y de las malezas influye en la abundancia de estos grupos para los dos agroecosistemas

estudiados, permite comprobar que solamente los himenópteros y los grupos con menor abundancia, se vieron afectados por la presencia de las malezas o las denominadas “malas hierbas”. Así, por ejemplo, el análisis de la varianza de la abundancia por grupos de artrópodos en el agroecosistema de alfalfa bajo las diferentes condiciones experimentales solo fue significativo al 95% de probabilidad para los hemípteros ($F=11.48$ y $p=0.01^*$) y para el grupo denominado “otros” que agrupa los artrópodos de menores abundancias ($F=8.23$ $p=0.02^*$).

Tabla 2. Principales grupos taxonómicos de artrópodos y sus correspondientes abundancias en el suelo del agroecosistema de alfalfa.

Grupo	Sin biosólidos					
	Sin maleza			Con maleza		
	Mayo	Junio	Julio	Mayo	Junio	Julio
Acarina	17	31	111	45	32	35
Aranae	37	21	7	33	14	7
Coleoptera	242	37	17	314	47	19
Collembola	1696	842	18746	1695	2737	6860
Diptera	31	4	132	24	3	18
Hemiptera	23	15	13	14	41	21
Himenoptera	113	64	16	589	34	46
Otros	5	2	4	10	3	6
Grupo	Con biosólidos					
	Sin maleza			Con maleza		
	Mayo	Junio	Julio	Mayo	Junio	Julio
Acarina	55	127	86	121	48	50
Aranae	59	16	7	117	17	3
Coleoptera	213	81	62	268	47	44
Collembola	2283	9461	42820	666	4569	48576
Diptera	64	6	209	69	7	82
Hemiptera	30	62	38	47	49	27
Himenoptera	71	95	198	86	58	144
Otros	30	22	29	41	4	7

Tabla 3. Principales grupos taxonómicos de artrópodos y sus correspondientes abundancias en el suelo del agroecosistema de maíz.

Grupo	Sin biosólidos					
	Sin malezas			Con malezas		
	Mayo	Junio	Julio	Mayo	Junio	Julio
Acarina	188	3	13	321	13	14
Aranae	4	1	2	1	3	3
Coleoptera	57	22	51	71	66	50
Collembola	3213	15540	27457	10928	32746	23618
Diptera	7	7	68	11	27	78
Hemiptera	1	7	3	0	12	1
Himenoptera	1024	54	25	774	767	122
Otros	9	2	13	29	11	8

Grupo	Con biosólidos					
	Sin maleza			Con maleza		
	Mayo	Junio	Julio	Mayo	Junio	Julio
Acarina	331	44	119	494	87	61
Aranae	4	9	4	1	11	4
Coleoptera	79	69	77	75	145	70
Collembola	775	45384	49298	2863	54653	24415
Diptera	22	11	193	17	34	58
Hemiptera	1	5	7	0	18	15
Himenoptera	25	12	18	4	11	23
Otros	7	10	25	10	28	14

En relación a los parámetros de la comunidad de artrópodos, tales como riqueza, diversidad y equitatividad (tablas 5 y 6), puede observarse una tendencia a aumentar la riqueza de artrópodos cuando no se corta la maleza y se añaden los lodos en el caso de la alfalfa, aunque dicha tendencia no es tan clara esta cuestión para el caso del maíz. En este último agroecosistema, durante los meses de junio y julio aumentó significativamente la abundancia de las poblaciones de artrópodos y este mismo patrón se observó en el de la alfalfa. El análisis de la varianza confirmó este hecho. Pero a diferencia de la alfalfa, en el maíz no se observó efecto de los biosólidos, ni tampoco se observaron diferencias significativas en la riqueza de morfoespecies ni en la

biodiversidad de este tipo de fauna edáfica aunque se aplicasen biosólidos o se cortasen las malezas en ninguno de los muestreos realizados.

El análisis de varianza de la abundancia por grupos de artrópodos en el cultivo de alfalfa bajo diferentes condiciones experimentales solo fue significativo para el orden Acarina (F=216,5***); Araneae (F=33,05*) e Himenoptera (F=163,67***) con el tratamiento de biosólidos; el orden Collembola y el grupo “otros” estuvieron positivamente correlacionados con el tratamiento de no cortar las malezas (F=16,70*) y (F=23,38*) respectivamente: el orden Coleóptera fue significativo tanto para el tratamiento con biosólidos como sin corte de maleza (F= 150,7***, F= 257,74 respectivamente)

Los análisis de la varianza entre la riqueza y la biodiversidad de este tipo de fauna edáfica indicaron que solamente hubo diferencias significativas en estas características ecológicas de la comunidad entre los diferentes meses de muestreo, pero no así con la adición de biosólidos (lodos en las tablas 4 y 5) o con la presencia o ausencia de maleza.

Tabla 4. Valores medios y desviaciones típicas de la riqueza de morfoespecies, la abundancia de poblaciones de artrópodos edáficos, diversidad y equitatividad en el agroecosistema de alfalfa en las parcelas con biosólidos y sin ellos durante el periodo de estudio

Tratamiento		Riqueza	Abundancia	Diversidad (H')	Equitatividad (E)
Sin lodos	Sin maleza	46,3 ± 18,0	7.408,7 ± 10.094,6	1,66 ± 0,38	0,30 ± 0,07
	Con maleza	43,0 ± 13,1	4.185,0 ± 2.448,6	1,58 ± 0,81	0,29 ± 0,13
Con lodos	Sin maleza	49,7 ± 9,8	18.708,0 ± 21.715,6	1,16 ± 1,25	0,20 ± 0,21
	Con maleza	54,0 ± 11,5	18.352,3 ± 26.534,8	1,68 ± 1,74	0,28 ± 0,28

Tabla 5. Valores medios y desviaciones típicas de la riqueza, la abundancia de poblaciones de artrópodos edáficos, diversidad y equitatividad en el agroecosistema de maíz en las parcelas con biosólidos (lodos) y sin ellos durante el periodo de estudio.

Tratamiento		Riqueza	Abundancia	Diversidad (H')	Equitatividad (E)
Sin lodos	Sin maleza	32,67 ± 2,08	10.715,55 ± 14.820,59	0,78 ± 1,09	0,16 ± 0,22
	Con maleza	40,00 ± 10,82	23.254,67 ± 10.773,53	0,66 ± 0,71	0,13 ± 0,12
Con lodos	Sin maleza	43,67 ± 13,05	32.176,33 ± 26.870,26	1,08 ± 1,23	0,22 ± 0,26
	Con maleza	43,67 ± 13,61	27.703,67 ± 25.896,00	0,63 ± 0,79	0,12 ± 0,16

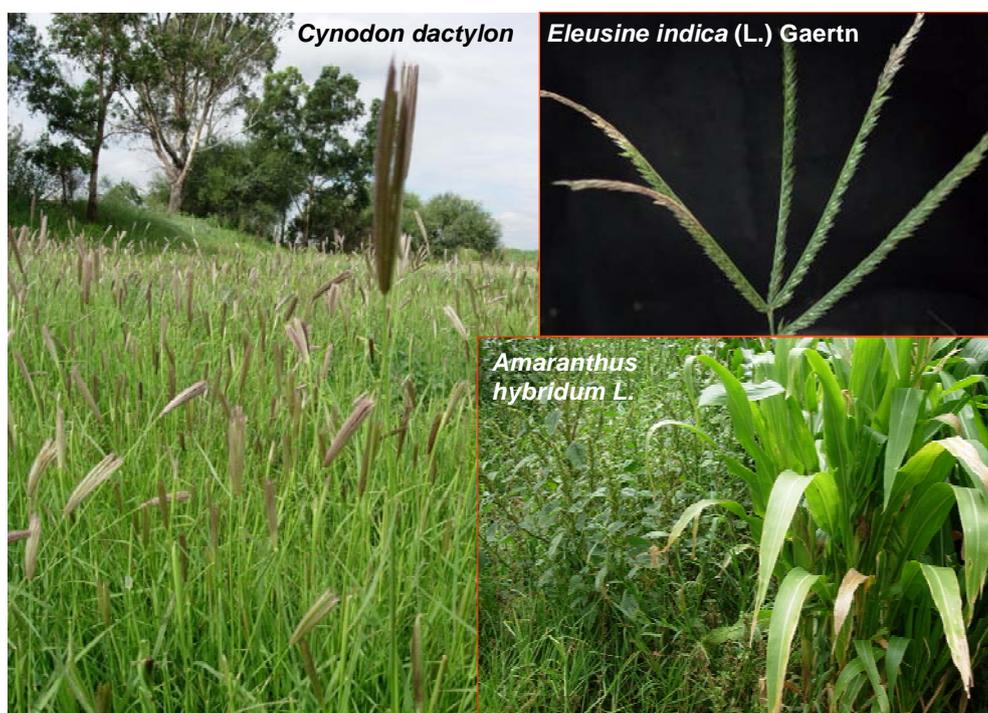
Las malezas presentes en el cultivo de alfalfa estuvieron representadas por especies pertenecientes a la familia de las compuestas: *Bidens odorata* Cav., *Cosmos bipinnatus* Cav., *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.; además, de la familia de las

convolvulaceas *Hypomoea purpurea* (L) Roth., y entre las gramíneas, *Chloris virgata* Sw., *Cynodon dactylon* (L) Pers., *Eleusine indica* (L) Gaertn. y *Setaria adhaerens* (Forsk) Chivo. En el cultivo de maíz sólo se encontraron tres especies de “malas hierbas”: dos especies de *Amaranthus*: *A. hybridum* L. y *A. palmeri* S.Wats. y la gramínea *Chloris virgata* Sw. (figura 2).

Tabla 6. Análisis de la varianza de la abundancia total, riqueza de especies e índice de diversidad (H') de artrópodos en el cultivo de alfalfa y maíz bajo diferentes condiciones experimentales

TRATAMIENTO	ALFAFA			MAÍZ		
	Riqueza	Abundancia	diversidad	Riqueza	Abundancia	diversidad
Lodos	7,49	15,47***	2,70	5,28	0,37	0,12
Maleza	0,04	0,33	3,26	1,32	1,72	0,51
Mes	31,96*	46,25***	86,58**	8,41	38,48***	417
Lodos-Maleza	2,1	0,62	5,78	1,32	0,76	0,19
Lodos-Mes	2,1	5,96**	22,59*	1,16	10,33**	0,96
Maleza-Mes	0,23	0,58	9,42	5,02	1,94	1,97

Figura 2. Malezas más abundantes: las dos poáceas (*C. dactylon* y *E. indica*) en el agroecosistema de alfalfa y *Amaranthus hybridum* en el del maíz



Respecto a las especies mostradas en dicha figura diremos que las dos poáceas, son consideradas para otros muchos agroecosistemas como “malas hierbas” en muchos tipos de suelos de diferentes latitudes (como *Cynodon*), incluso para los tropicales (como *Eleusine indica*), pero las especies de *Amaranthus* son grandes oportunistas que responden con un gran crecimiento (y biomasa) al efecto del riego, como también ocurre en agroecosistemas mediterráneos.

Por lo que se refiere a los diferentes grupos de artrópodos y en particular en el cultivo de alfalfa, destaca el hecho de que el grupo con mayor densidad, los colémbolos, tuvieron una alta correlación positiva con la productividad y la precipitación y de tipo negativa con la temperatura, en cambio las arañas y los coleópteros mostraron una relación negativa con la productividad y la precipitación, mientras que la relación entre los dípteros y la temperatura fue de tipo negativa. Para el cultivo del maíz se obtuvieron pocas correlaciones destacando los dípteros que mostraron relaciones positivas con la productividad y la precipitación y negativa con la temperatura

Tabla 7. Valores de correlación de Pearson entre los factores climáticos y la abundancia de artrópodos con biosólidos, con maleza y sin maleza en el agroecosistema de alfalfa.

GRUPOS	Con lodos y sin maleza		Con lodos y con maleza		Sin lodos y sin maleza		Sin lodos y con maleza	
	T ^a	Precip.	T ^a	Precip.	T ^a	Precip.	T ^a	Precip.
Acarina	0,180	0,087	0,077	-0,377	-0,53	0,605	-0,008	-0,078
Aranae	0,236	-0,600	0,246	-0,707*	0,553	-0,875**	0,286	-0,601
Coleoptera	0,238	-0,677*	0,162	-0,663	-0,334	0,039	0,350	-0,427
Collembola	-0,783*	0,897**	-0,899**	0,965**	0,223	0,251	0,136	0,194
Díptera	-0,743*	0,629	-0,695*	0,314	-0,635	0,649	-0,792*	0,949**
Hemíptera	0,497	0,004	0,543	-0,526	0,309	0,057	0,589	-0,133
Himenoptera	-0,486	0,561	-0,534	0,438	0,168	-0,647	0,572	-0,590

En las tablas 10 y 11 se muestran los resultados de las estimaciones de la productividad de la alfalfa y del maíz en peso fresco, no observándose ninguna diferencia significativa bajo las diferentes prácticas de manejo efectuado en ambos cultivos. No obstante, aunque el tiempo de duración de este ensayo es escaso para evaluar mejor la producción en relación a los manejos efectuados, podemos hacer algunas consideraciones en relación al objetivo de este trabajo.

Tabla 8 Correlación entre factores climáticos y la abundancia de los grupos de artrópodos de las parcelas sin biosólidos, con maleza y sin maleza en el agroecosistema de maíz.

GRUPOS	Con lodos y sin maleza		Con lodos y con maleza		Sin lodos y sin maleza		Sin lodos y con maleza	
	T ^a	Precip	T ^a	Precip	T ^a	Precip	T ^a	Precip
Acarina	-0,063	-0,371	0,176	-0,607	0,083	-0,477	0,162	-0,710*
Aranae	0,321	0,059	0,456	0,048	-0,109	-0,303	-0,051	0,221
Coleoptera	-0,139	0,017	0,604	-0,213	-0,334	0,039	0,350	-0,427
Collembola	-0,180	0,573	0,330	0,142	0,223	0,251	0,136	0,194
Diptera	-0,838**	0,827**	-0,603	0,840**	-0,635	0,649	-0,792**	0,949***
Hemiptera	-0,375	0,710*	-0,010	0,528	0,309	0,057	0,589	-0,133
Himenoptera	-0,041	-0,088	-0,570	0,761**	0,168	-0,647	0,572	-0,590

Tabla 9. Estimación de la **productividad de la alfalfa** (valores medios en Kg peso húmedo/m²) bajo las diferentes condiciones experimentales.

	Tratamientos			
	Sin lodos y sin maleza	Sin lodos y con maleza	Con lodos y sin maleza	Con lodos y con maleza
Mayo	0,51 ± 0,025	0,40 ± 0,06	0,46 ± 0,06	0,41 ± 0,03
Junio	4,45 ± 0,24	3,66 ± 0,40	8,97 ± 1,07	4,02 ± 0,32
Julio	3,80 ± 0,32	4,07 ± 0,28	8,82 ± 0,65	5,83 ± 0,32

En el mes de junio fue evidente una mayor producción en la alfalfa con biosólidos y sin maleza, mientras que en el maíz se observó un mayor crecimiento en las parcelas con biosólidos, con y sin maleza. Durante el último muestreo, en el mes de julio, se volvió a registrar una mayor producción en la alfalfa con biosólidos y sin maleza, aunque también con biosólidos y con maleza se obtuvo un rendimiento mayor que en el mes de junio. Para el caso del maíz aumentó más la biomasa en las muestras provenientes de las parcelas con biosólidos, siendo aún mayor con la presencia de las malezas, como es el caso de *Amaranthus palmeri* (L.) que contribuyó de manera importante al incremento de la biomasa vegetal de la parcela.

La alfalfa es un cultivo perenne, con un promedio de producción de 1360 kg/corte/ha, en una media de 10 cortes anuales (datos de La Posta, UAA). Los rendimientos por corte son muy variables en el año, pero bajan en primavera hasta los 800 kg (por efecto de condiciones ambientales especialmente heladas, baja humedad

relativa, viento y alta evapotranspiración). Los mejores rendimientos se dan en verano-otoño, pudiendo llegar a 3 t/ ha. Estos rendimientos están expresados en términos de alfalfa deshidratada con un contenido de humedad entre 15 y 20 %. Por lo que respecta al cultivo de maíz se tiene un promedio de producción en el área de 55 ton/ha cosechado en su punto óptimo de madurez.

Tabla 10. Estimación de la productividad de la alfalfa (valores medios en Kg peso húmedo/m²) bajo las diferentes condiciones experimentales.

	Tratamientos			
	Sin lodos y sin maleza	Sin lodos y con maleza	Con lodos y sin maleza	Con lodos y con maleza
Mayo	0,51 ± 0,025	0,40 ± 0,06	0,46 ± 0,06	0,41 ± 0,03
Junio	4,45 ± 0,24	3,66 ± 0,40	8,97 ± 1,07	4,02 ± 0,32
Julio	3,80 ± 0,32	4,07 ± 0,28	8,82 ± 0,65	5,83 ± 0,32

Tabla 11. Estimación de la productividad del maíz (valores medios en Kg peso húmedo/m²) bajo diferentes condiciones experimentales.

Fecha de muestreo	Sin lodos y sin maleza	Sin lodos y con maleza	Con lodos y sin maleza	Con lodos y con maleza
Mayo	1,93 ± 0,20	2,01 ± 0,19	2,33 ± 0,18	2,46 ± 0,29
Junio	4,00 ± 0,23	4,96 ± 0,45	7,94 ± 0,29	8,26 ± 0,27
Julio	6,45 ± 0,92	8,12 ± 0,54	12,56 ± 0,80	18,32 ± 1,13

Tabla 12. Correlación entre la productividad en los dos agroecosistemas con los factores climáticos

Relaciones	ALFALFA				MAÍZ			
	Sin lodos sin maleza	Sin lodos con maleza	Con lodos sin maleza	Con lodos con maleza	Sin lodos sin maleza	Sin lodos con maleza	Con lodos sin maleza	Con lodos con maleza
Prod-T ^a	-0,013	-0,265	-0,151	-0,481	-0,654	-0,647	-0,591	-0,745
Prod-. Precip.	0,605	0,783**	0,705*	0,906**	0,953***	0,967***	0,953***	0,993***

De los análisis de correlación efectuados se puede señalar que en ambos agroecosistemas existe una alta relación entre la productividad y la precipitación y entre la fauna total y la precipitación, en cambio solamente se observó en el cultivo de alfalfa una relación significativa entre la productividad y la fauna total cuando se agregaron

biosólidos y permaneció la maleza. Para el caso del maíz se observó dicha relación cuando se retiró la maleza, independientemente que el cultivo tuviese biosólidos o no.

La producción de maíz aumenta cuando se aplican los biosólidos. También los mejores rendimientos obtenidos para maíz forrajero en una finca situada en la zona central de México han sido debidos al aporte de biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de Jalisco (Guadalajara), como se muestra en Salcedo-Pérez et al. (2007). Y a resultados análogos se han llegado para este cultivo en diferentes suelos adicionados con estos tipos de lodos (Ozores-Hamton & Peach, 2002).

En la tabla 13 se exponen las correlaciones realizadas entre los principales grupos de artrópodos en estos agroecosistemas y la producción de forraje. Los dípteros muestran valores significativos con todas las prácticas agrícolas ensayadas en el maíz, mientras que los coleópteros y arañas no presentan correlaciones significativas.

Tabla 13. Correlación entre la abundancia de los grupos de artrópodos y la productividad en relación a los manejos agrícolas efectuados en el agroecosistema de maíz.

Grupo	Sin lodos y sin maleza	Sin lodos y con maleza	Con lodos y sin maleza	Con lodos y con maleza
	PRODUCTIVIDAD			
Acarina	-0,478	-0,880**	-0,487	-0,636
Aranae	-0,349	0,142	0,188	0,148
Coleoptera	0,058	-0,380	-0,026	-0,181
Collembola	0,282	0,542	0,731*	0,221
Díptera	0,676*	0,817**	0,664*	0,885**
Hemíptera	0,080	0,123	0,772*	0,546
Himenoptera	-0,689*	-0,527	-0,149	0,771**

Con los datos proporcionados por la finca agrícola sobre la productividad y con los valores de los cortes mensuales de la alfalfa y el corte final del maíz, se pudo establecer una comparación entre las productividades bajo diferentes condiciones. Así, la adición de biosólidos aumentó la productividad en un 8% para el caso de la alfalfa y de un 13% para el maíz, comparado cuando se utiliza como fertilizante fosfato monoamónico.

La comparación entre la productividad de la alfalfa creciendo en un suelo al que durante años se le viene aplicando fertilizante químico y ahora con una adicción de biosólidos (tabla 14) no resulta muy precisa debido al escaso tiempo en que lleva el

biosólido incorporado al suelo. Debemos señalar al respecto, no obstante, que las características químicas de los biosólidos utilizados como fertilizantes fueron semejantes tanto para el contenido de materia orgánica y la salinidad total a los utilizados en el trabajo de Flores T. F. J & Flores L. (2005), para otra área agrícola, menos en el porcentaje de N total que fue menor y en el contenido total de P que fue sin embargo mayor. Por otra parte, puede haber fenómenos de sinergia en relación a la evaluación del N total. Téngase en cuenta lo señalado al comienzo de este epígrafe del trabajo. Pero también debido a la fijación del N atmosférico por parte de esta leguminosa cultivada.

Tabla 14. Comparación entre la productividad obtenida utilizando biosólidos y usando fertilizantes Kg (peso seco, humedad 15-20%) / ha.

Condición experimental	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Alfalfa con biosólidos	711	1602	1923	
Alfalfa sin biosólidos	682	1524	1656	
Alfalfa con fertilizante (producción mensual histórica)		800-3,000		
Maíz con biosólidos t/ha				62
Maíz sin biosólidos t/ha				21
Maíz con fertilizante t/ha				55

No obstante, pensamos que la adicción de los biosólidos pueden reducir los requerimientos de la fertilización mineral. Hasta un 50% de N según se muestra en el trabajo de Haptom et al. (2000). Esto sería beneficioso tanto para no incrementar problemas de eutrofización como en la reducción de costes económicos a la vez que se puede utilizar un compuesto de los residuos que producimos. Probablemente una acción combinada entre la aplicación de biosólidos y una menor cantidad de fertilizante inorgánico, sería rentable para el agroecosistema de alfalfa, mientras que casi con mucha probabilidad, en el caso del maíz forrajero, bastaría la adicción de biosólidos

Desde una agricultura de conservación, tanto el punto que acabamos de comentar, como el hecho de abogar por mantener la biodiversidad, los resultados obtenidos son importantes. Así, en los dos agroecosistemas existe una alta relación entre la productividad y la fauna de artrópodos. Y en el caso de la alfalfa, una relación significativa entre la productividad y el total de esta fauna edáfica cuando se agregaron

biosólidos y permaneció la maleza. Para el caso del maíz, no obstante, se observó dicha relación cuando se retiró la maleza, independientemente que el cultivo tuviese biosólidos o no. En definitiva, que se hace necesario no aplicar el mismo manejo en uno u otro agroecosistema.

Por último, decir que en un mismo rancho, aunque no tenga grandes dimensiones, es mejor tener más de un tipo de cultivo, no solo por aprovechamiento de los recursos suelo y lluvia, sino también por favorecer la biodiversidad de la fauna de artrópodos.

CONCLUSIONES

Se ha tratado de estimar si la aplicación de biosólidos como práctica agrícola emergente en el altiplano mexicano, aporta mejores rendimientos en la productividad de dos agroecosistemas forrajeros ampliamente distribuidos en este territorio, que el aporte de fertilización química a base N y P. Esta práctica se valora también en relación a los artrópodos edáficos. Pero también se compara dicho tratamiento con otros manejos muy utilizados, como son el corte mensual de la alfalfa (cultivo perenne) y el riego, incluso para el caso del maíz que es un cultivo temporal (primavera-verano).

Aunque el ensayo realizado en campo es de corta duración, los resultados obtenidos muestran que la abundancia de artrópodos tiene más relación con el régimen de precipitaciones y temperaturas que con el manejo del cultivo. Los grupos taxonómicos más abundantes fueron ácaros, colémbolos, dípteros, himenópteros, hemípteros y arañas en los dos agroecosistemas estudiados (alfalfa y maíz). Solamente los artrópodos menos abundantes y los himenópteros parecen estar afectados por la presencia de malezas. Los colémbolos presentan una alta correlación positiva con la productividad del sistema, mientras que los coleópteros la presentan en forma negativa.

La adición de biosólidos aumentó la productividad de la alfalfa en un 8% y la del maíz en un 13 % en comparación con las productividades obtenidas cuando se utiliza solamente el fertilizante químico. Este resultado nos lleva a decir que la aplicación de los biosólidos puede hacer reducir los requerimientos de la fertilización mineral. No obstante, este estudio precisará de mayor período de observación y del empleo de técnicas multivariantes de los datos dada la naturaleza de las variables en juego.

Agradecimientos: al M. C. Mario A. López Gutiérrez responsable del Área Agrícola La Posta de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, así como a la financiación económica del proyecto de la Comunidad de Castilla-La Mancha (España) JCCM-Proyecto POII-0179-2859

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Bater, J.E. 1996. Micro and Macroarthropods. In G.S. Hall (ed) Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediments. CAB International. Wallingford. pp: 163-174.
- Brower, J.E., Zar, J.E. and von Ende, C. N. 1997. Field and Laboratory Methods for General Ecology. 4th ed. WCB Mc Graw Hill. 273 p.
- Calderón, G. de Rzedowski y J. Rzedowski. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Mich. 406 pp.
- De la Cerda, L. M.. 1996. *Las gramíneas de Aguascalientes*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes. 212 pp.
- Flores, T. F.J. & L. Flores 2005. Los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes: Características y usos. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 33: 4-11.
- García, R. G. 2004. *Asteraceae. Las compuestas de Aguascalientes*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes. 380 pp.
- Minitab, Inc. 2007. Meet Minitab 15. Statistical Software. State Coll. Pa.
- Ozores-Hampton M. & D.R.A. Peach. 2002. Biosolids in vegetable production systems. HortTechnology 12(3): 336-340
- Petersen, H.; and Luxton, M. 1982. a comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos*, 39: 287-388.
- Salcedo-Pérez. 2007. Aplicación de lodos residuales al maíz en la zona central de México *Libro de Resúmenes XVII Congreso Latinoamericano Suelos, México*: 17-21 de septiembre de 2007.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-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.

EFFECTO DE METALES DE SUELOS DE CULTIVOS FORRAJEROS DE MÉXICO ADICIONADOS CON BIOSÓLIDOS SOBRE LOS ARTRÓPODOS EDÁFICOS



Se reproduce parte del trabajo presentado por Flores-Pardavé, L., Flores-Tena, F.J., Hernández-Sánchez, A.J. 2008. Effect of heavy metals from amended biosolids soils sowed with forages on the abundance and biodiversity of edaphic arthropods. *Abstract The Third International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering (3IMEBE) Palma de Mallorca, SPAIN 21-25 sept. 2008*

EFFECTO DE METALES DE SUELOS DE CULTIVOS FORRAJEROS DE MÉXICO ADICIONADOS CON BIOSÓLIDOS SOBRE LOS ARTRÓPODOS EDÁFICOS

RESUMEN

Los estudios sobre los efectos positivos de los biosólidos en el aumento de la fertilidad del suelo y de la producción de grano y forraje son numerosos. Sin embargo, es necesario conocer los efectos de este “subproducto” sobre la biota edáfica. El objetivo de este trabajo es el evaluar el efecto de los metales pesados de los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de Aguascalientes (México) sobre los artrópodos edáficos. Se han realizado dos ensayos experimentales: (i) uno en campo (6 meses de duración) con dosis de 200 y 400 t/ha (peso húmedo) en agroecosistemas de alfalfa y maíz; (ii) otro bioensayo en invernadero (de tres meses de duración) con aplicación de 200, 400 y 800 t/ha adicionadas a un mismo tipo de suelo en el que se sembraron ejemplares de alfalfa y maíz. Los grupos taxonómicos de artrópodos evaluados, así como la abundancia de las principales poblaciones en el ensayo de campo se obtuvieron utilizando trampas pitfall, y en el caso del invernadero, mediante embudos Berlese-Tullgren.

Aunque el contenido de metales pesados (Cu, Cd, Cr, Ni, Pb y Zn) estuvo incluso por debajo de las normas mexicanas, se acusan efectos de los mismos sobre los artrópodos del suelo cuando la aplicación de biosólidos es muy superior a las 200 t/ha. Se muestran las correlaciones positivas y negativas entre los niveles de cada uno de los metales en suelo con los distintos tratamientos y cada uno de los grupos taxonómicos de artrópodos presentes en los dos agroecosistemas.

Palabras clave: metales pesados, lodos residuales, fauna edáfica, toxicidad

ABSTRACT

Studies on the effects of biosolids on increasing soil fertility and the production of grain and fodder are numerous. However, it is necessary to know the effects of this product on the soil biota. The goal of this study is to evaluate the effect of heavy metals from biosolids for wastewater treatment plant of Aguascalientes (Mexico) on soil arthropods. There have been two experimental trials: (i) one on field (6 months duration) at doses of 200 and 400 t / ha (wet weight) in alfalfa and corn agroecosystems: (ii) other greenhouse bioassay (3 months duration) with application of 200, 400 and 800 t/ha added to the same type of soil in which were sowed with alfalfa and corn seeds. Abundance of populations of principal arthropod taxonomic groups were evaluated in field using pit fall traps, in the case of greenhouse experiments Berlese-Tullgren funnels were used.

Although the content of heavy metals (Cu, Cd, Cr, Ni, Pb and Zn) was even lower for Mexican standards, is accused of the same effects on the arthropods of the soil when the application of biosolids is much higher than the 200 t/ha. Positive and negative correlations between levels of individual metals in soil with different treatments and with each of the taxonomic groups of arthropods in both agroecosystems are shown in this chapter.

Key words: heavy metals, sewage sludge, soil fauna, toxicity

INTRODUCCIÓN

En la actualidad son conocidos los efectos positivos de la utilización de biosólidos como un suplemento orgánico para los suelos degradados ya que mejoran su fertilidad y las propiedades físicas de los mismos. Pero también es reconocido el hecho de que para que puedan ser reutilizados debe asegurarse que no existan residuos peligrosos, como metales pesados, que se puedan acumular en el suelo. Si la concentración de ellos en los suelos es alta, el uso de este subproducto se ve limitado, debido a que son extremadamente persistentes en los mismos. Su acumulación excesiva puede tener efectos muy negativos sobre la fertilidad del suelo, ya que afectan al funcionamiento de los agroecosistemas (Alexis et al., 2007), y constituyen un riesgo para la salud de animales y personas (Sun *et al.*, 2001; Hernández et al., 2008).

En países en desarrollo, como México, el reciclaje de los lodos de plantas depuradoras de aguas residuales y su uso en la agricultura es reciente, aunque ya se conocen los efectos positivos para mejorar la producción de granos y forraje. No obstante, se requiere conocer los efectos de este subproducto en otros componentes edáficos de los agroecosistemas ya que este aspecto no solo ha sido poco estudiado, sino que las características químicas de los biosólidos son diferentes a las obtenidas en países industrializados y, además, en la mayoría de los casos en que se ha estudiado alguno de estos aspectos, se refieren a artrópodos de muy diferentes latitudes a las de nuestro país.

El objetivo de este trabajo estriba pues en conocer los efectos de los metales pesados provenientes de los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de Aguascalientes (México) sobre los artrópodos edáficos en dos agroecosistemas de amplia distribución en este territorio (alfalfa y maíz) al ser sometidos a diferentes concentraciones de los mismos. Se hace necesario poder saber aconsejar a los agricultores de la zona, no solo de que puedan utilizar estos lodos, sino los niveles adecuados de los mismos para los dos cultivos forrajeros más importante en este estado mexicano.

MATERIAL Y MÉTODOS

Experimento en campo

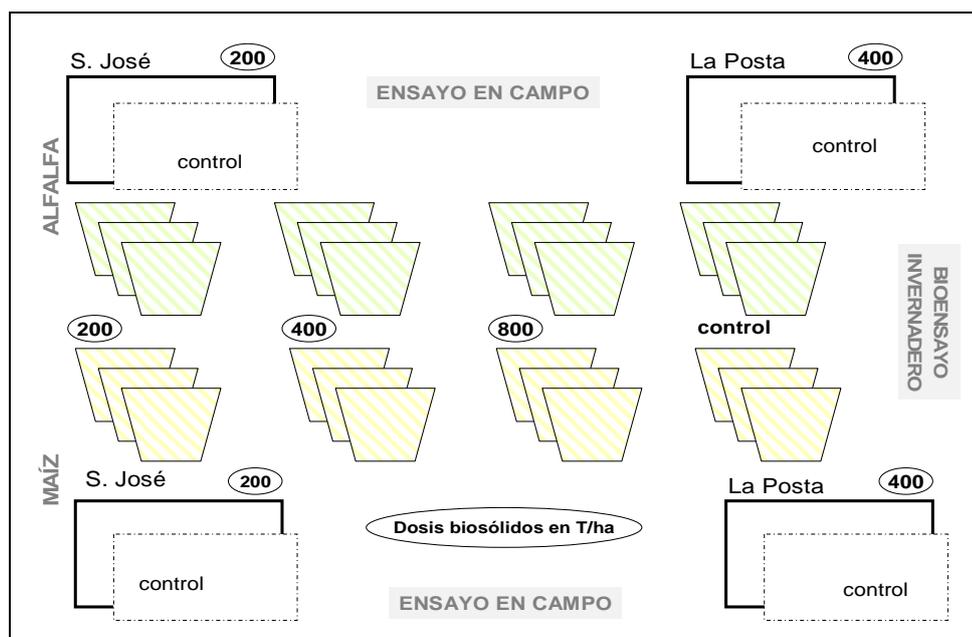
El trabajo de campo fue realizado en dos fincas agrícolas próximas a la ciudad de Aguascalientes en el Altiplano mexicano. Dos parcelas de 3000 m² fueron sembradas con alfalfa y otras dos con maíz en cada una de las dos fincas, a las que fueron aplicadas dos dosis de biosólidos distintas (a razón de 200 y 400 t/ha, con un contenido de humedad del 80%). En todas las parcelas se establecieron uniformemente nueve trampas pilfall para la captura de los artrópodos del suelo y se realizaron tres tomas de muestras en cada agroecosistema durante el período más favorable para estos organismos y después de un mes en que se habían aplicado los biosólidos

Experimento en invernadero

Se ha llevado a cabo también un ensayo en macetas con 1 Kg de suelo proveniente del área agrícola experimental “La Posta” de la Universidad de Aguascalientes. Tres replicaciones para cada uno de los dos cultivos a los que previamente les fueron dosificados lodos correspondientes a razón de 200, 400 y 800

t/ha, y tres replicaciones también para el testigo (figura 1). El experimento se llevó a cabo en condiciones controladas (invernadero con T^a de 20-25°C y una humedad relativa entre 65-70%), durante tres meses. La extracción de artrópodos del suelo se realizó colocando la muestra de suelo en un embudo Berlese-Tullgren durante 5 días (Griffiths, 1996).

Figura 1. Diseños experimentales



Análisis de los biosólidos y del suelo

Las técnicas utilizadas para el análisis de los biosólidos se exponen en Flores-Tena y Flores -Pardavé (2005). Para determinar el contenido de metales totales en suelo se pesaron dos muestras de 2 g de suelo seco y calcinado, se les añadió 3 ml de ácido nítrico, 0.5 ml de ácido perclórico y 25 ml de agua desionizada. Las muestras fueron colocadas en una autoclave durante 15 minutos a 1750 Kg de presión; después fueron filtradas y analizadas con un espectrofotómetro Perkin Elmer AA Analyst.

Para la determinación de los metales extraíbles, se tomaron dos muestras de 5 g de suelo seco y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 100 ml, se agregaron 25 ml de una mezcla de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico 0.075N y se agitaron durante 4 horas, posteriormente las muestras fueron filtradas y analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer, 1994; APHA, AWWA, WWA 1998).

Análisis numéricos

Los ejemplares de artrópodos obtenidos en cada una de las muestras fueron identificados a nivel de grupo taxonómico de orden y se procedió al recuento de todos los ejemplares correspondientes a los mismos. La riqueza de artrópodos se ha estimado por recuento directo de cada una de las morfoespecies (incluyendo larvas diferentes y no solo ejemplares adultos). Las relaciones entre los metales y la riqueza y abundancia de los principales grupos de artrópodos edáficos, se llevó a cabo mediante un análisis de regresión y de correlación de Spearman utilizando el software Statistica 7.0 del paquete StatSoft.Inc. (2004), y el análisis Anova con la prueba DMS que indica dentro de cada grupo de artrópodos si le afecta significativamente el tratamiento X con respecto a los otros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestra la composición de los biosólidos utilizados tanto en los experimentos en campo como en invernadero y en la tabla 2 los niveles de metales totales y extraíbles en los suelos de las parcelas de campo, así como los tres parámetros edáficos más relacionados con los mismos (pH y porcentajes de M.O. y arcilla). La precipitación media anual en el año de la experimentación fue bastante baja en el territorio donde se ubicaron los experimentos (359,6 mm en 2005)

La concentración de metales totales y extraíbles en los suelos procedentes de campo, fue muy baja, debido a que los biosólidos añadidos provienen de aguas residuales mayoritariamente domésticas y contienen niveles muy bajos de estos elementos. Seis de los siete metales estudiados son metales pesados siendo el Cu y el Zn oligoelementos imprescindibles para los seres vivos, por lo que si su nivel en el medio edáfico es elevado, pueden ocasionarles problemas de toxicidad. Y Cd y Pb son claramente xenobióticos.

No obstante, a la vista de los resultados expuestos en la tabla 2, podemos hacer las siguientes consideraciones. En primer lugar, aun tratándose de un mismo rancho, no siempre la capa superficial del suelo tiene las mismas características edáficas, dependiendo de varios factores, entre ellos el tipo de cultivo y su manejo, así como de las variaciones topográficas en que se disponen sus agroecosistemas. Así pues, aunque tengamos unos pH muy semejantes y unos porcentajes de M.O. similares también, hay diferencias en el contenido de arcilla. Es conocido cómo las arcillas pueden fijar metales

pesados, con lo que es probable que en el caso del agroecosistema del maíz, se presenten valores más bajos de algunos metales (Cr y Ni) en relación a lo que ocurre en el de la alfalfa, debido precisamente al % de arcilla. Esta cuestión es señalada también en los comentarios expuestos por Soler et al (1999).

Tabla 1. Concentración de metales (mg/Kg), pH y M.O. de los biosólidos aplicados al cultivo de alfalfa y maíz.

Parámetro edáfico	Aplicación suelo alfalfa	Aplicación suelo maíz	Aplicación suelo Posta y macetas
pH	6,45	6,26	6,47
M.O. (%)	25,8	38,5	34,3
Cr extraíble	1,25	0,35	0,30
Cr total	196,9	146,0	14,10
Cu extraíble	0,15	0,15	0,15
Cu total	28,25	133,0	29,85
Cd extraíble	0,10	0,03	0,25
Cd total	1,45	1,90	0,65
Fe extraíble	14,13	11,98	61,5
Fe total	38.500	6.400	8.200
Ni extraíble	3,13	4,85	1,66
Ni total	75	185	33,2
Pb extraíble	<0,05	0,40	<0,05
Pb total	39,70	44,75	18,25
Zn extraíble	<0,05	4,40	8,20
Zn total	680	715	1.150

El Cr, el Pb y el Zn son metales pesados presentes en los lodos de depuradora y pueden provenir de la industria. Es probable que, debido a las industrias textiles que operan en Aguascalientes pueda incrementarse estos metales en aguas residuales que pueden llegar a la planta de tratamiento, ya que los tres son utilizados especialmente para colorantes en la actividad textil. Por otra parte, si los cultivos se riegan con aguas residuales (como hemos observado en algunos de los ranchos del territorio, especialmente para el maíz), puede seguir incrementando también el nivel de los metales en los suelos. Así se ha puesto ya de manifiesto para suelos agrícolas de la zona centro de nuestro país (Hidalgo) por Lucho-Constantino et al. (2003)

En el trabajo de Berslin (1999) se muestra cómo la aplicación de los biosólidos a suelos agrícolas, después de cuatro años se limita el paso de Cu, Zn y Pb de los primeros 0-5 cm del suelo a los niveles inferiores. Esta cuestión puede ser importante para los artrópodos edáficos, ya que la gran mayoría vive en este tramo del suelo. Sin

embargo, no ocurre lo mismo para el caso del Cd, ya que este elemento continúa tanto en ese primer nivel como en el de 5-10 del suelo. Los autores citados atribuyen este hecho a que hay presencia de Cd soluble en el fertilizante de fósforo administrado inicialmente al suelo. En el trabajo de Pastor et al. (2008), también se alude a este último hecho en relación la baja calidad de fertilizantes fosforados (y de menor precio, con lo cual son muy utilizados por los campesinos) empleados en suelos de países tropicales que dejan Cd en los suelos.

Tabla 2. Concentración de metales (mg/Kg), pH y M.O.(%) y arcilla (%) en los suelos de los dos agroecosistemas del experimento de campo con una dosis a razón de 200 t/ha y 400 t/ha de biosólidos.

PARÁMETROS	200 t/ha		400 t/ha			
	control	Suelo+ lodos alfalfa	Control	Suelo + lodos maíz	Control	Suelo+ lodo
pH	7,97	8,22	7,70	7,53	8,15	7,21
M.O.	3,5	7,13	3,36	8,40	0,9	2
Arcilla	17,9	24,9	25,2	24,0	25,1	19,1
Cr extraíble	0,06	<0,01	0,02	0,03	0,01	0,02
Cr total	8,55	60,75	13,7	6,28	0,67	1,52
Cu extraíble	0,06	0,16	0,12	0,21	0,1	0,1
Cu total	3,85	7,08	3,95	6,88	0,8	3,5
Cd extraíble	<0,01	0,02	0,04	<0,01	0,16	0,1
Cd total	0,40	0,25	0,50	0,13	0,29	0,48
Fe extraíble	1,98	0,24	0,66	0,45	0,55	0,26
Fe total	5,250	13,150	4,125	5,900	1,000	930
Ni extraíble	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,01	0,24
Ni total	5,35	11,85	13,13	4,95	0,43	1,95
Pb extraíble	0,24	0,01	0,16	<0,01	<0,02	<0,04
Pb total	14,30	3,5	0,73	5,95	1,78	2,67
Zn extraíble	0,14.	<0,01	0,48	1,77	0,55	1,06
Zn total	31,0	83,43	35,0	46,5	1,96	3,7

En las tablas 4 y 5 se muestran los grupos de artrópodos que fueron recogidos en el ensayo de campo. Aunque el contenido de metales pesados (Cu, Zn, Cr, Ni, Pb y Cd) en los suelos después de la aplicación de los lodos residuales, estuvo incluso por debajo

de lo permitido por las normas mexicanas (tabla 3), se acusan efectos de los mismos en relación a los artrópodos edáficos cuando son aplicados los biosólidos.

Tabla 3. Niveles permitidos de metales pesados (mg/Kg) en los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales por la legislación mexicana (SEMARNAT, 2002)

Metales	Nivel permitido	Nivel excelente
Cr	3000	1200
Cu	4300	1500
Cd	85	39
Ni	57	17
Pb	420	420
Zn	7500	2800

Tabla 4. Valores medios de la abundancia de los grupos taxonómicos de artrópodos recogidos en el suelo de alfalfa en el ensayo de campo con adición de 200 y 400 t/ha.

Artrópodos	control	200 t/ha	Control t/ha	400 t/ha
Ácaros	49,33 ± 81,12	61,67 ± 52,55	39,33 ± 6,11	75,00 ± 40,73
Arañas	31,67 ± 24,54	20,00 ± 12,12	1,00 ± 1,00	0,33 ± 0,58
Colémbolos	986,67 ± 813,05	4.120,67 ± 3708,31	3764,00 ± 2731,36	17907,00 ± 26628,47
Coleópteros	63,33 ± 43,13	429,67 ± 535,78	35,00 ± 28,93	55,67 ± 95,55
Dermápteros	23,33 ± 14,74	41,67 ± 24,01	1,00 ± 1,73	9,67 ± 9,29
Dípteros	22,33 ± 9,61	24,33 ± 4,04	15,00 ± 10,82	52,67 ± 40,08
Himenópteros	4,00 ± 1,00	5,00 ± 3,46	223,00 ± 317,02	96,00 ± 43,86
Hemípteros	47,67 ± 30,62	22,33 ± 14,57	25,33 ± 14,01	41,00 ± 12,17

En la actualidad las normativas legales en cada país suelen obligar a que los procesos de depuración de las aguas residuales disminuyan la concentración de los metales pesados. Además, éstos suelen quedar retenidos en los coloides que forma la materia orgánica con la arcilla y otras fracciones del suelo dependiendo de las características del mismo. Numerosos estudios coinciden en afirmar que los elementos contaminantes que lleven esos lodos quedan retenidos en la zona de incorporación al suelo, encontrándose prácticamente inmóviles en el perfil edáfico. Prácticamente, la movilidad sigue la secuencia $Cd > Zn > Cu > Ni$ (Sastre et al., 1993). Ello es sin duda importante para que este tipo de contaminantes no pase al subsuelo, pero pensamos que puede ser perjudicial en relación a los organismos que habitan en la capa superficial del suelo. Precisamente, otro trabajo de las citadas autoras (Sastre et al. 2001), en el que se estudia el comportamiento del Cd y del Ni en suelos agrícolas con ocho años en que se lleva aplicando lodos residuales, afirma que ellos se incrementan en la capa superficial.

Por otra parte, conviene señalar que las transferencias de Cd y de Zn del suelo con aplicación de biosólidos en todo un sistema pueden estar afectadas, como se muestra en el trabajo de Green et al (2004).

Hay arañas (principalmente de la familia de Oribátidos), que parecen ser más persistentes al Cd, Cu y Pb en términos de mortandad, pero pueden ser susceptibles a algún otro proceso biológico, como suele ocurrir por efecto de la toxicidad de metales pesados en un determinado medio. Pero son los colémbolos el grupo de artrópodos más investigado en relación a la toxicidad. Especialmente es utilizado como especie test *Folsonia candida* en la gran mayoría de experimentos en ambientes controlados, que son los resultados frecuentes al efecto de la contaminación del suelo sobre estos organismos (ISO, 1991; Tompson & Gore, 1972).

Tabla 5. Valores medios de la abundancia de los grupos taxonómicos de artrópodos recogidos en el suelo de maíz en el ensayo de campo con adición de 200 y 400 t/ha.

Artrópodos	Control	200 t/ha	Control	400 t/ha
Ácaros	41,67 ± 26,31	102,67 ± 75,22	116,00 ± 177,54	214,00 ± 242,84
Arañas	9,33 ± 0,58	12,67 ± 1,53	2,33 ± 1,15	5,33 ± 5,13
Coleópteros	805,67 ± 354,92	1606,00 ± 1820,07	22430,67 ± 10957,35	27.310,33 ± 26016,12
Colémbolos	52,33 ± 7,57	65,00 ± 9,54	62,00 ± 11,53	96,00 ± 42,58
Dermápteros	26,67 ± 25,40	62,67 ± 3,21	5,33 ± 5,51	9,33 ± 11,85
Dípteros	39,33 ± 8,50	27,33 ± 14,98	38,67 ± 34,99	36,33 ± 20,60
Himenópteros	181,33 ± 125,86	50,67 ± 31,66	554,33 ± 374,43	12,67 ± 9,61
Hemípteros	15,00 ± 7,00	19,00 ± 7,00	4,33 ± 6,66	11,00 ± 9,64

También se ha dicho (Hopkin, 1989), que los isópodos (cochinillas) son excelentes indicadores de la contaminación por metales en un suelo a causa de su disponibilidad para concentrarlos en los tejidos de su cuerpo. En nuestro estudio se han encontrado ejemplares de este grupo en las parcelas adicionadas con 200 t/ha., por lo que pudiéramos considerar que estos organismos hacen disminuir el paso de algunos metales pesados a otros niveles edáficos, incluso el que no pasen a algunas de las poblaciones del suelo y también que esos metales no pasen al cultivo. No obstante, estos isópodos pueden pasar a otros niveles de la cadena trófica del sistema y ocasionar serios problemas de toxicidad a otros organismos depredadores de los mismos.

Tabla 6. Valores de regresión (**r**) que han resultado estadísticamente significativos entre la riqueza y abundancia de los principales grupos de artrópodos y los metales (totales **T** y extraíbles **E**) y del suelo en los agroecosistemas de alfalfa y maíz abonados con 200 t/ha de biosólidos.

Agroecosistemas	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Alfalfa / T					
Nº Total morfoesp.		0,87 *	0,89 *		
Colémbolos	0,97 **	0,88 *			
Alfalfa / E					
Coleópteros					- 0,99 ***
Dípteros	0,99 **		0,97 ***		
Ácaros	0,95 **		0,96 **		
Arañas	0,96 **		0,99 ***		
Maíz / T					
Colémbolos		0,95 **			
Himenópteros			0,94 *	-0,89 *	
Ácaros	0,97 **				
Maíz / E					
Himenópteros		- 0,89 *	- 0,90 *		
Ácaros	0,96 **				
Arañas					0,98 ***

El análisis de regresión entre los niveles de los mismos y los principales grupos de artrópodos, muestra correlaciones positivas entre Cu, Zn y Ni con la abundancia de ácaros, colémbolos, dípteros, himenópteros y arañas, cuando los biosólidos son aplicados en campo a razón de 200 t/ha (tabla 6). En cambio, se observan correlaciones negativas entre el Cd y la abundancia de coleópteros. No se han encontrado relaciones estadísticamente significativas con el Cr mediante este análisis.

Las relaciones que han sido estudiadas en este trabajo se sitúan a nivel de regresiones y de correlaciones simples con el fin de poder contrastar los resultados que son mas frecuentes mostrados en la bibliografía.

El n° de microartrópodos está significativamente influenciado por las concentraciones de Cu. Pueden observarse los valores significativos de regresión (tabla 6). Nuestros resultados son análogos a los expresados por Holmstrup et al (2007), especialmente para el caso de los colémbolos, como también han indicado estos últimos autores (Holmstrump et al., 2006)

Tabla 7. Valores de regresión (r) que han resultado estadísticamente significativos entre los principales grupos de artrópodos (valores de abundancia) y los metales (totales **T** y extraíbles **E**) de los suelos abonados con 400 t/ha de biosólidos.

Agroecosistemas	Cu	Zn	Fe	Ni	Pb	Cd
Alfalfa / T						
Dermápteros	0,570*	0,570*	-0,495*	0,570*	0,570*	0,570*
Dípteros	-0,506*	-0,506*	-0,695**	-0,506*	0,506*	-0,506*
Hemípteros	-0,513*	-0,513*		-0,513*	-0,513*	-0,513*
Alfalfa / E						
Dermápteros	0,570*	0,570*	-0,495*	0,570*	0,570*	0,570*
Dípteros	-0,506	-0,506	-0,695**	-0,506	0,506	-0,506
Hemípteros	-0,513*	-0,513*		-0,513*	-0,513*	-0,513*
Maíz / T						
Himenópteros	0,547*		0,547*	0,547*	0,547*	0,547*
Maíz / E						
Himenópteros	0,547*		0,547*		0,547*	0,547*

En la tabla 8 pueden observarse las correlaciones de Spearman entre los metales pesados de los suelos y los artrópodos de los mismos.

Una consideración que se deriva de los resultados de los bioensayos en maceta hace referencia a la diversidad de artrópodos edáficos. En este caso, al ser comparada con la obtenida en campo, podemos decir que este atributo de los agroecosistemas presenta un índice muy bajo (Flores-Pardavé et al., 2008). Quizá ello es debido a que en el experimento de campo, los artrópodos edáficos fueron colectados con trampas pitfall, mientras que en los experimentos de invernadero los artrópodos fueron extraídos con embudos de Berlese-Tullgren. Con el primer método se recogen muchas más especies epiedáficas, mientras que con el segundo se capturan principalmente grupos euedáficos.

Por otra parte, al durar más el tiempo del ensayo en campo, es lógico que se obtuvieran más morfoespecies de artrópodos.

Tabla 8. Valores de correlación de Spearman entre los metales (totales) y los principales grupos de artrópodos edáficos del agroecosistema de alfalfa con los tratamientos estudiados

ALFALFA 200 t/ha	Cr	Cu	Fe	Cd	Ni	Pb	Zn
Acaros	0,043	0,043	-0,018	0,043	0,043	0,043	0,043
Arañas	-0,282	-0,282	0,283	-0,282	-0,282	-0,282	-0,282
Colémbolos	0,609**	0,609**	-0,466	0,609**	0,609**	0,609**	0,609**
Coleópteros	0,072	0,072	-0,170	0,072	0,072	0,072	0,072
Dermápteros	0,155	0,155	-0,323	0,155	0,155	0,155	0,155
Dípteros	0,176	0,176	-0,120	0,176	0,176	0,176	0,176
Himenópteros	-0,081	-0,081	0,080	-0,081	-0,081	-0,081	-0,081
Hemipteros	-0,273	-0,273	0,262	-0,273	-0,273	-0,273	-0,273
Todos grupos	0,593**	0,593**	-0,456	0,593**	0,593**	0,593**	0,593**

ALFALFA 400 t/ha	Cr	Cu	Fe	Cd	Ni	Pb	Zn
Ácaros	0,346	0,346	-0,500*	0,346	0,346	0,346	0,346
Arañas	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
Colémbolos	0,000	0,000	-0,182	0,000	0,000	0,000	0,000
Coleópteros	0,421	0,421	-0,380	0,421	0,421	0,421	0,421
Dermápteros	0,623**	0,623**	-0,541*	0,623**	0,623**	0,623**	0,623**
Dípteros	0,540*	0,540*	-0,699**	0,540*	0,540*	0,540*	0,540*
Himenópteros	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
Hemipteros	0,477*	0,477*	-0,222	0,477*	0,477*	0,477*	0,477*
Todos grupos	-0,022	-0,022	-0,153	-0,022	-0,022	-0,022	-0,022

Prácticamente no se encuentran estudios del efecto de suelos contaminados sobre la fauna edáfica en México, si bien Contreras (2001), ha mencionado que hay algún efecto sobre los colémbolos en suelos contaminados en el estado de Hidalgo. Con este trabajo, aunque se trata de una primera aproximación al hecho de los posibles efectos de la aplicación de biosólidos a los cultivos de la alfalfa y maíz sobre la fauna edáfica, en el estado de Aguascalientes, podemos decir que una dosis de aplicación situada por encima de 200 t/ha entraña dificultades para grupos tróficos importantes en las redes tróficas de estos agroecosistemas, especialmente el de los colémbolos, directamente involucrados en la descomposición de la materia orgánica, en la regulación de las actividades microbianas y parcialmente en los ciclos nutritivos en los cultivos forrajeros.

Tabla 9. Valores de correlación de Spearman entre los metales (totales) y los principales grupos de artrópodos edáficos del agroecosistema de **maíz** con los tratamientos estudiados

MAÍZ 200t/ha	Cr	Cu	Fe	Cd	Ni	Pb	Zn
Ácaros	0,39	0,39	-0,452	0,39	0,39	0,39	0,39
Arañas	-0,303	-0,303	0,144	-0,303	-0,303	-0,303	-0,303
Colémbolos	0,539*	0,539*	-0,482*	0,539*	0,539*	0,539*	0,539*
Coleópteros	-0,054	-0,054	-0,145	-0,054	-0,054	-0,054	-0,054
Dermápteros	0,238	0,238	-0,46	0,238	0,238	0,238	0,238
Dípteros	0,293	0,293	-0,268	0,293	0,293	0,293	0,293
Himenópteros	-0,011	-0,011	-0,072	-0,011	-0,011	-0,011	-0,011
Hemípteros	-0,205	-0,205	0,223	-0,205	-0,205	-0,205	-0,205
Todos grupos	0,474*	0,474*	-0,422	0,474*	0,474*	0,474*	0,474*

MAÍZ 400t/ha	Cr	Cu	Fe	Cd	Ni	Pb	Zn
Ácaros	0,313	0,313	-0,42	0,313	0,313	0,313	0,313
Arañas	0,285	0,285	-0,194	0,285	0,285	0,285	0,285
Colémbolos	0	0	0,172	0	0	0	0
Coleópteros	0,28	0,28	-0,475*	0,28	0,28	0,28	0,28
Dermápteros	0,132	0,132	-0,099	0,132	0,132	0,132	0,132
Dípteros	0	0	0,086	0	0	0	0
Himenópteros	-0,842**	-0,842**	0,734**	-0,842**	-0,842**	-0,842**	-0,842**
Hemípteros	0,181	0,181	-0,226	0,181	0,181	0,181	0,181
Todos grupos	0	0	0,172	0	0	0	0

Tabla 10-a. Análisis de la varianza de los grupos de artrópodos en los suelos con diferentes niveles de biosólidos y control, en el bioensayo realizado en invernadero con siembra de alfalfa (*Medicago sativa*. (T= tratamiento). Letras distintas en los diferentes grupos de la columna indican diferencias significativas al 95%.

Artrópodos	T	Media ± Desv. típica	Artrópodos	T	Media ± Desv. típica
	Colémbolos	0		2,67 ± 3,06 a	Tisanópteros
	200	217,33 ± 207,53 b		200	0,0 ± 0,0 a
	400	21,33 ± 5,03 a		400	3,33 ± 2,31 b
	800	6,67 ± 3,06 a		800	0,0 ± 0,0 a
Dermápteros	0	0,0 ± 0,0 a	Hemípteros	0	0,0 ± 0,0 a
	200	0,0 ± 0,0 a		200	0,67 ± 0,58 b
	400	0,0 ± 0,0 a		400	0,0 ± 0,0 a
	800	0,67 ± 1,15 a		800	0,0 ± 0,0 a
Ácaros	0	31,33 ± 9,24 a			
	200	35,67 ± 14,36 a			
	400	264,67 ± 172,99 a b			
	800	398,67 ± 282,74 b			

Tabla 10-b. El mismo análisis Anova pero con los grupos de larvas

Artrópodos	Tratamiento	Media ± Desv. típica
Coleópteros larvas	0	0,0 ± 0,0 a
	200	0,0 ± 0,0 a
	400	8,0 ± 10,58 a
	800	0,0 ± 0,0 a
Dípteros larvas	0	0,67 ± 1,15 a
	200	0,67 ± 0,58 a
	400	0,0 ± 0,0 a
	800	0,0 ± 0,0 a
Himenópteros larvas	0	1,0 ± 1,0 a
	200	0,0 ± 0,0 a
	400	2,67 ± 3,06 a
	800	2,0 ± 2,0 a

Tabla 11. Análisis de la varianza (DMS) de los grupos de artrópodos en los suelos con diferentes niveles de biosólidos y control, en el bioensayo realizado en invernadero con siembra de maíz. (*Zea mays*) (T= tratamiento). Letras distintas en los diferentes grupos de la columna indican diferencias significativas al 95%

Media ± Desv. típica			Media ± Desv. típica		
Artrópodos	T	Desv. típica	Artrópodos	T	Desv. típica
Colémbolos	0	23,3 ± 13,6 a	Coleópteros	0	0 ± 0 a
	200	50,3 ± 56,1 a		200	0,3 ± 0,6 a
	400	18,7 ± 14,5 a		400	0 ± 0
	800	298 ± 419,5 a		800	0 ± 0 a
Dermápteros	0	0 ± 0 a	Arañas	0	0 ± 0 a
	200	0,3 ± 0,6 a		200	0,3 ± 0,6 a
	400	0 ± 0 a		400	0 ± 0 a
	800	0,7 ± 1,1 a		800	0 ± 0 a
Ácaros	0	7,3 ± 5,8 a	Dípteros	0	0,7 ± 1,1 a
	200	102 ± 41,6 a		200	0,3 ± 0,6 a
	400	1658 ± 2123,5 ab		400	0 ± 0 a
	800	3065,3 ± 1721,8 b		800	0 ± 0 a
Tisanópteros	0	0,7 ± 1,15 a	Himenópteros	0	0 ± 0 a
	200	0,6 ± 0,6 a		200	0 ± 0 a
	400	4,6 ± 5,0 ab(F)		400	1,3 ± 1,1 b
	800	0,3 ± 0,6 b(F)		800	0 ± 0 a
Centípedos	0	0 ± 0 a			
	200	0 ± 0 a			
	400	1,3 ± 1,2 b			
	800	0 ± 0 a			

Aunque la contaminación del suelo por metales pesados es uno de los problemas ambientales en los países altamente industrializados, sin embargo, solamente pocas especies de colémbolos, isópodos, ácaros, diplópodos anélidos y coleópteros han sido estudiados con cierta frecuencia en relación a esta problemática. Los resultados de estos estudios al respecto, indican que las respuestas de cada especie de artrópodos es diferente para cada metal, y que dicha respuesta está determinada principalmente por las propiedades del suelo (Gräff *et al.*, 1997; Grelle *et al.*, 2000; Lock *et al.*, 2001; Fountain and Hopkin, 2004; Odendaal and Reinecke, 2004; Boyd *et al.*, 2006; Creamer *et al.*, 2008).

En la tabla 12 se muestran las correlaciones significativas estadísticamente entre los metales del suelo y los principales grupos de artrópodos resultantes del bioensayo en invernadero (F= fiable significativamente al 90%). Prácticamente todos los metales están correlacionados con los artrópodos del suelo donde crece la alfalfa, mientras que solamente el Zn lo está con los ácaros del suelo donde crece el maíz.

Tabla 12. Valores de correlación de Spearman entre los metales (totales) y los principales grupos de artrópodos edáficos en el bioensayo de invernadero con alfalfa y maíz. (L=larva)

ALFALFA	Cr	Cu	Fe	Cd	Ni	Pb	Zn
Colémbolos	0,876**	0,876**	0,162	-0,032	0,876**	0,876**	0,584*
Dermapteros	-0,135	-0,135	0,135	0,135	-0,135	-0,135	0,135
Ácaros	0,022	0,022	-0,346	0,757**	0,022	0,022	0,043
Tisanópteros	0,256	0,256	-0,768**	0,768**	0,256	0,256	-0,256
Coleópteros (L)	0,199	0,199	-,598*	0,598*	0,199	0,199	-0,199
Dípteros (L)	0,171	0,171	0,37	-0,569	0,171	0,171	0,171
Himenopteros	-0,302	-0,302	0,441	0,534	-0,302	-0,302	-0,325
Hemípteros	0,600*	0,600*	0,600*	-0,600*	0,600*	0,600*	0,600*

MAÍZ	Cr	Cu	Fe	Cd	Ni	Pb	Zn
Colembolos	-0,151	-0,151	0,335	-0,022	-0,151	-0,151	0,249
Dermapteros	0,166	0,166	0,382	-0,166	0,166	0,166	0,382
Ácaros	0,281	0,281	0,043	0,497	0,281	0,281	0,433
Thisanópteros	0,221	0,221	-0,267	0,221	0,221	0,221	-0,046
Centípedos	0,2	0,2	-0,600*	0,600*	0,2	0,2	-0,2
Dípteros (L)	-0,05	-0,05	0,166	-0,382	-0,05	-0,05	-0,05
Himenópteros (L)	0,2	0,2	-0,600*	0,600*	0,2	0,2	-0,2
Coleópteros	0,405	0,405	0,405	-0,405	0,405	0,405	0,405
Arañas	0,405	0,405	0,405	-0,405	0,405	0,405	0,405

Esta última cuestión nos hace ser cautelosos respecto a la aplicación de cualquier tipo de enmienda para llevar a cabo una agricultura orgánica, pues no podemos olvidar la complejidad de procesos ecológicos que se llevan a cabo en los mismos y que, en definitiva, pueden afectar a la producción de los cultivos.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se puede concluir que los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes no son tóxicos para la fauna de artrópodos edáfica, cuando la dosis de aplicación está por debajo de 400 t/ha; asimismo que sus características químicas mejoran la fertilidad del suelo y por lo tanto incrementan la abundancia de ciertos grupos biológicos importantes en los agroecosistemas forrajeros, como sería el caso de los colémbolos. Sin embargo, con mayores dosis de materia orgánica incorporada al suelo, aumentan poblaciones de artrópodos edáficos que hace incrementar a su vez, poblaciones de especies depredadoras como las de los ácaros. Este hecho ocurrirá si se aplican reiteradamente biosólidos al suelo.

De los datos de campo cabe destacar que los niveles de Cu en el suelo adicionado con 200 t/ha se muestran positivamente correlacionados con las abundancias de los colémbolos, dípteros, ácaros y arañas en el agroecosistema de la alfalfa y solamente con los ácaros en el del maíz. El Zn también está positivamente correlacionado con los colémbolos, pero negativamente con los himenópteros, para los que también sucede igual con el Ni. Este último metal está no obstante correlacionado en forma positiva con dípteros, ácaros y arañas. El Cd presenta una significativa correlación negativa con la abundancia de colémbolos. Estos resultados nos hacen pensar en dos direcciones: por un lado que los colémbolos pueden ser indicadores del Cu y del Zn de la capa superficial edáfica, y por otro lado, que su disminución puede deberse a un mayor nivel de Cd en la misma en los agroecosistemas de maíz. Ello implica que se hace necesaria la vigilancia constante de este grupo de artrópodos en los suelos con aplicación de biosólidos, aunque sea con dosis aceptables para la fertilidad de los cultivos.

Por último, del ensayo realizado en invernadero podemos destacar que los hemípteros han estado correlacionados con todos los metales en forma positiva respecto

a todas las dosis de biosólidos aplicadas al suelo, menos para con el Cd que lo hace de manera negativa. Este grupo pues, podría ser indicador también para dicho metal.

De todas formas esta temática precisará de mayores investigaciones, incluso como para poder utilizar estos resultados a la hora de aplicar lodos residuales a la mejora de cubiertas edáficas de vertederos de residuos sólidos urbanos.

Agradecimientos: Al Proyecto PIT 04-1 de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (México) y al Programa EIADES de la Comunidad de Madrid (España)

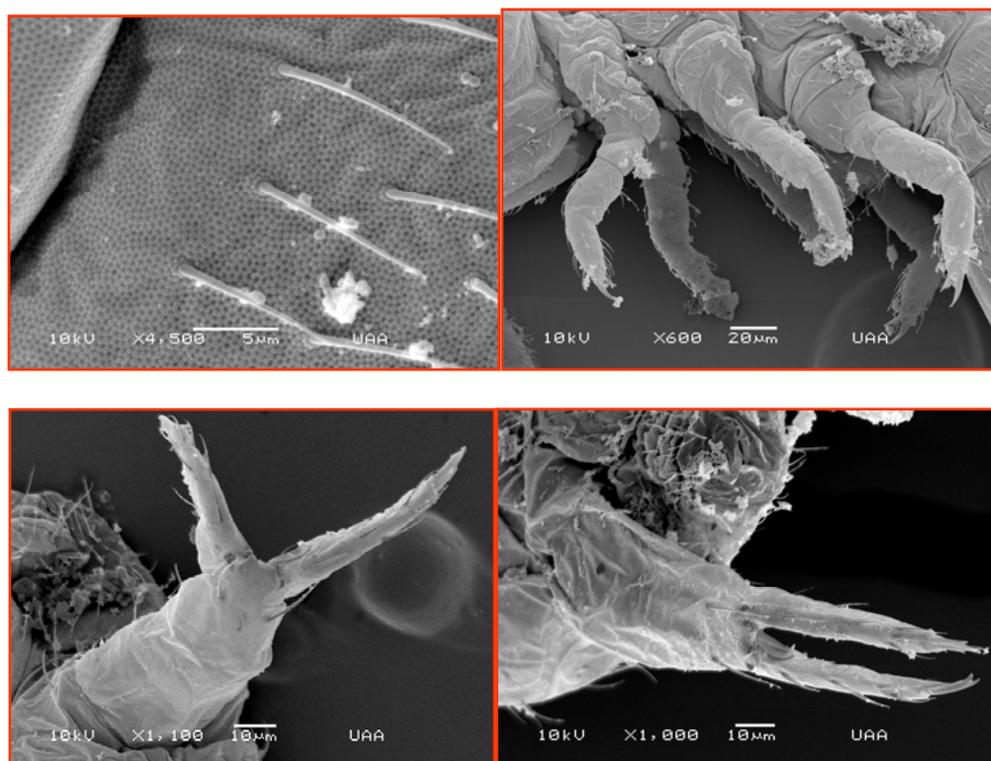
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexis, S.; Hernández, A. J. & Pastor, J. 2007. Evaluación de la fertilidad y contaminación de los suelos de la cuenca del Pedernales (República Dominicana). *Libro de Resúmenes XVII Congreso Latinoamericano Suelos, México*: 17-21 de septiembre de 2007.
- APHA, AWWA, WWA. 1998. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. American Public Health Association. Washington, D.C.
- Boyd, R.S., Davis, M.A., Wall, M.A. and Balkwill, K. 2006. Metal concentrations of insects associated with the South African Ni hyperaccumulator *Berkheya coddii* (Asteraceae). *Insect Science*, 13: 85-102.
- Brower, J.E., Zar, J.E. & Von Ende, C. N. 1997. *Field and laboratory methods for general ecology*. 4th ed. WCB Mc Graw Hill. 273 pp.
- Contreras, V. R. 2001. Impacto en la ecología de algunos géneros del orden Collembola por la incorporación de contaminantes en suelos de San Salvador, Hidalgo, México. *Tesis Maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM*, México 98 pp.
- Creamer, R.E., Rimmer, D.L. & Black, H.I.J. 2008. *Do elevated soil concentrations of metal affect the diversity and activity of soil invertebrates in the long-term? Soil Use and Management*, 24 (1): 37-46.
- Flores-Tena, F. & Flores-Pardavé, L. 2005. *Los biosólidos de la planta tratadora de aguas residuales de la Ciudad de Aguascalientes: Características y usos. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 33: 4-11.
- Flores-Pardavé L.; Escoto, R.J.; Flores-Tena, F. & Hernández, A. J. 2008. Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de

- biosólidos. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes 40: 11-18.
- Fountain, M.T. & Hopkin, S.P. 2004. A comparative study of the effects of metal contamination on Collembola in the field and in the laboratory. *Ecotoxicology*, 13: 573-587.
- Gräff, S., Beerkus, M. Alberti, G. & Köhler, H.R. 1997. Metal accumulation strategies in saprophagous and phytophagous soil invertebrates: a quantitative comparison. *Biometals*, 10: 45-53.
- Grelle, C., Fabre, M.C. Lepretre, A. & Descamps, M. 2000. Myriapod and isopod communities in soils contaminated by heavy metals in northern France. *Eur. J. of Soil Science*, 51: 425-433.
- Green I.D., C. Jeffries, A. Díaz & Mark Tibbett. 2006. Contrasting behavior of cadmium and zinc in a soil-plant-artropod system. *Chemosphere*: 64:1115-1121.
- Griffiths, D.A.1996. Mites. In G.S. Hall (ed) *Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediments*. CAB International. Wallingford. pp: 175-185.
- Hernández, A. J. ; J. Pastor ; S. Aléxis & C. Vizcayno . 2008. Impacto de la geoquímica en la salud: una aproximación basada en estudios de casos de ecosistemas tropicales de República Dominicana. *Revista electrónica e-terra,geopor.pt*, 5(8): 1-15.
- Holmstrup M., H. Sjørnsen, H. Ravn & M. Bayley. 2001. Dehydration tolerance and water vapour absorption in two species of soil-dwelling Collembola by accumulation of sugars and polyols. *Functional Ecology*, 15:647-653.
- Holmstrup, M., K. Maraldo & P. Henning Krogh. 2007. Combined effect of copper and prolonged summer drought on soil Microarthropods in the field. *Environmental Pollution* 146: 525-533.
- Hopkin S.P. 1989. *Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates*. Elsevier Applied Science, London 366 pp.
- ISO(1991)Soil Quality-Effects of Soil Pollutants on Collembola: Determination of the inhibition of Reproduction. ISO/TC 190/SC4/WG2, N26.
- Lock, K & Janssen, C.R. 2001. Cadmium toxicity for terrestrial invertebrates: Taking soil parameters affecting bioavailability into account. *Ecotoxicology*, 10: 315-322.
- Lucho-Constantino C.A., H.M. Poggi-Varaldo & M. Cebrián. 2003 Impact of irrigation whit raw wasterwater on the accumulation and fractionation of boron and heavy

- metals in farming soils of central México. *4th International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse*. Mexico City November 12-14.
- Odendaal, J.P. & Reinecke, A.J. 2004. Effect of metal mixtures (Cd and Zn) on body weight in terrestrial isopods. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 46: 377-384.
- Pastor J., S. Alexis & A. J. Hernández. 2008. Estudio de la fertilidad y de los metales pesados en suelos de agroecosistemas tropicales. *Livro de Resumos III Congresso Ibérico da Ciência do Solo*. 1-4 julho 2008.
- Perkin-Elmer. 1994. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry*. ThePerkin Elmer Co. Norwalk (Ct).
- Sastre I., M.A. Vicente, I. Walter & M.C. Lobo. 1993. Influencia del aporte continuado de lodos residuales sobre las propiedades físico químicas de un suelo. *IX Congreso Nacional de Química (Química Agrícola y Alimentaria-3)* Sevilla (España) 26-29 de septiembre.
- Sastre I., M. A. Vicente & M. C. Lobo. 2001. Behavior of cadmium and níkel in a soil attended with sewage sludge. *Land Degrad. Develop.*, 12: 27-33.
- Soler-Rovira, P.; Polo, A. Y Gumuzzio, J.1999. Utilización y problemas ambientales de los lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales. En *Malestar Ambiental en la Ciudad*. Ed. Universidad Autónoma de Madrid: 133-162
- Thompson A.R. & F.L. Gore. 1972. Toxicity of twenty-nine insecticides to *Folsomia candida*: laboratory studies. *J. Econ. Entomol.* 65: 1255-1260
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación, 31 diciembre 2002: 1-75.
- StatSoft. Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Sun, B., Zhao, F.J., Lombi, E. & Mc Grath, S.P. 2001. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environ. Poll.*, 113: 111-129.

ESTUDIO ECOLÓGICO DE LOS COLÉBOLOS EDÁFICOS
DE AGROECOSISTEMAS DE ALFALFA CON ADICIÓN DE BIOSÓLIDOS
Y SU RELACIÓN CON EL FLUJO DEL NITRÓGENO



Parte de este capítulo se encuentra en Flores-Pardavé, L; Palacios-Vargas, J.G; Gabriela Castaño-Meneses, G. y Cutz-Pool, L.Q. Colémbolos de suelos agrícolas en cultivos de alfalfa y de maíz adicionados con biosólidos en Aguascalientes, México. *Agrociencia* (en revisión).

ESTUDIO ECOLÓGICO DE LOS COLÉMBOLOS EDÁFICOS DE AGROECOSISTEMAS DE ALFALFA CON ADICIÓN DE BIOSÓLIDOS Y SU RELACIÓN CON EL FLUJO DEL NITRÓGENO

RESUMEN

Al ser los colémbolos uno de los grupos de artrópodos más abundantes en el agroecosistema adicionado con biosólidos, se consideró pertinente poder profundizar en aspectos relativos a la ecología de dicho grupo. Se ha determinado la composición de comunidad, que estuvo representada por siete especies pertenecientes a seis familias. El efecto de dosis de aplicación de 200 y 400 t/ha de biosólidos muestra que la diversidad disminuye con estos tratamientos, aunque se incrementan las abundancias del conjunto de sus poblaciones, incluso con aplicaciones de 800 t/ha (en peso húmedo). No obstante, la dinámica estacional de sus poblaciones parece estar más sujeta a los parámetros climáticos que a las prácticas realizadas en el cultivo. Pero también esta dinámica está muy afectada por las relaciones con los ácaros (depredador-presa). Es decir, que los colémbolos crecen enseguida con la incorporación de los biosólidos en el suelo debido a la riqueza de poblaciones de hongos que les sirven de alimento y sus poblaciones son luego consumidas por los ácaros que exhiben después sus máximas densidades de población. Por último, se muestra la implicación de los colémbolos en el flujo del N en el suelo con la incorporación de biosólidos.

Palabras clave: microartrópodos, ecología de colémbolos, relación depredador-presa

ABSTRACT

One most abundant groups of arthropods in the agroecosystem are springtails with biosolids added, it was considered to further aspects of the ecology of this group. We determined the composition of community, which was represented by seven species belonging to six families. The effect of application rate of 200 and 400 t/ha of biosolids show that diversity decreases with these treatments, although it increases the abundances of all populations, including applications of 800 t/ha (wet weight).

However, the seasonal dynamics of their populations appear to be more subject to climatic parameters that practice in the crop. Also this dynamic is greatly affected by relations with mite (predator-prey). The springtails grow quickly with the incorporation of biosolids into the soil because of the richness of populations of fungi that provide food and their populations are then consumed by the mites after they exhibit their highest population densities. Finally, we show the participation of springtails in the flow of N in the soil with the addition of biosolids.

Keywords: microarthropods, springtails ecology, predator-prey relationship

INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO

En un trabajo anterior (Flores-Padarvé et al., 2008), expusimos que los microartrópodos del grupo taxonómico *Colembolla* eran los artrópodos más abundantes en los agroecosistemas que reciben una aplicación de biosólidos. Nos proponemos ahora profundizar en el conocimiento de este grupo, tanto a nivel de poder saber quienes son las especies que lo forman, como de conocer su dinámica estacional en el suelo después de una aplicación de biosólidos. Además, contribuir a la evaluación de las relaciones de estos organismos con el flujo del N en un agroecosistema adicionado con lodos de depuradora, que lógicamente conllevan un buen incremento en este nutriente para el suelo, además de tratarse de un cultivo de leguminosa que fija N atmosférico al mismo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha llevado a cabo un estudio de los colémbolos del suelo en tres agroecosistemas de alfalfa situados en localidades próximas del altiplano mexicano en el estado de Aguascalientes, a los que se han aplicado diferentes dosis de lodos que provienen de la planta tratadora de aguas residuales de la capital de este estado: en el “Rancho San José” con una dosificación de 200 t/ha, llevándose a cabo muestreos bimensuales durante febrero-diciembre, de 2004 y 2005 con el fin de estudiar la dinámica de las poblaciones de este grupo de microinvertebrados; un segundo agroecosistema se sitúa en el área agrícola de “La Posta Zootécnica” de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, al que fueron adicionados estos mismos lodos pero a razón de 400 t/ha; y un tercer escenario se ubica en el “Rancho La Salada” con una dosificación de 800 t/ha. El muestreo en estas dos últimas localidades se llevo a cabo

durante un año. En las tres localidades se establecieron 2 parcelas experimentales de 3000 m², una adicionada con biosólidos y otra control. En cada una de ellas sin retirarles la maleza, se establecieron 9 puntos de muestreo y en cada uno de ellos se colocaron trampas pitfall. Se realizaron 3 tomas de muestras en el año en las parcelas sometidas a las diferentes dosis y, solamente para el caso de la aplicación con 200 t/ha fueron realizadas un total de 15 muestreos a lo largo de dos años desde la aplicación de los lodos. Para la recogida de las muestras se dejaron las trampas durante una semana y después se trasladaron al laboratorio para ser procesadas. Los colémbolos fueron separados bajo el microscopio estereoscópico, luego se montaron en preparaciones semipermanentes en líquido de Hoyer y se identificaron utilizando el microscopio de contraste de fases y después se utilizó el microscopio electrónico de barrido para la determinación de las especies

Hemos realizado también un bioensayo en macetas de 1 Kg de suelo con las mismas dosis de biosólidos aplicadas en campo, en las que fueron sembradas 3 ejemplares de alfalfa, regadas con agua desionizada (200 ml cada dos días). Fue un ensayo en invernadero de tres meses de duración con el fin de poder profundizar en las relaciones tróficas de este grupo de organismos en el subsistema edáfico pero sin tener tanta densidad de otros artrópodos como en el caso del experimento en campo. Al final de ese ensayo la fauna edáfica se extrajo mediante embudos de Berlese-Tullgren y se procedió a la identificación de los colémbolos del mismo modo que hemos referido anteriormente.

Se han calculado los siguientes parámetros ecológicos: densidad de cada población, índices de diversidad de Shannon (H'), de equitatividad de Shannon (J') y de dominancia de Simpson (D), utilizando el software incluido en Brower et al. (1997). Para las correlaciones se utilizó el programa SPSS Statistics 17.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

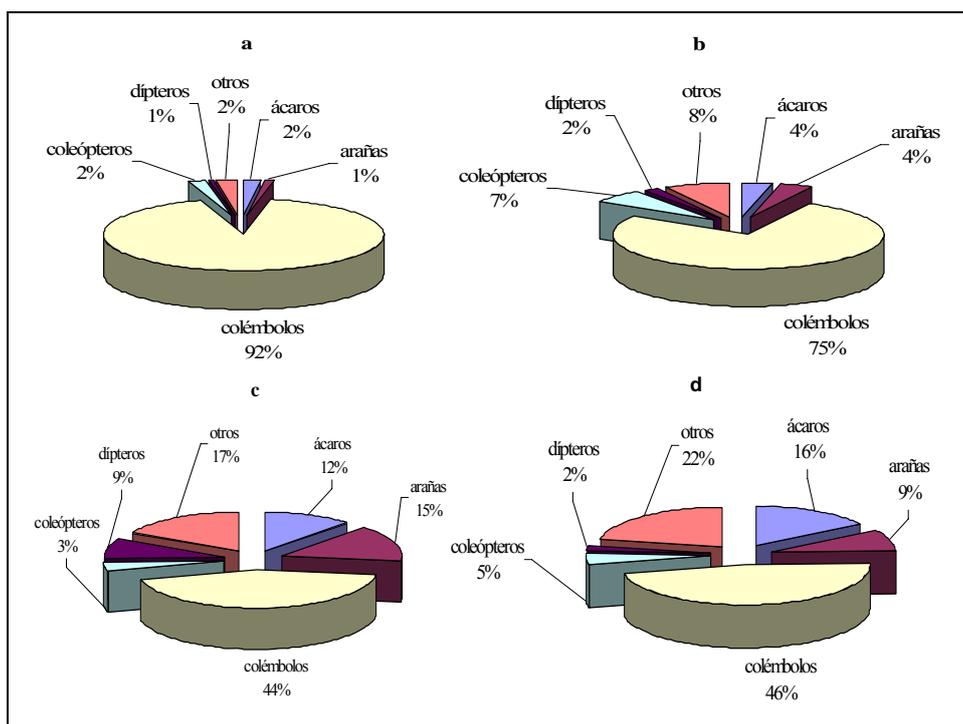
En la figura 1 se muestran los porcentajes de distribución de los grupos mayoritarios de artrópodos edáficos en un agroecosistema de alfalfa con y sin adicción de biosólidos. Como puede observarse ellos son el grupo taxonómico mayoritario siempre.

Hábitats y hábitos alimenticios de los colémbolos

Los colémbolos del suelo constituyen un componente importante de la micro y mesobiota del mismo a pesar de no representar una gran biomasa debido al tamaño de

sus organismos. Existe una gran variedad de especies en este hábitat y pueden encontrarse sobre la superficie (epiedáficos), en la primera capa del suelo y la hojarasca en descomposición (hemiedáficos), y en las capas profundas (euedáficos) (Verhoef & Goede, 1985; Palacios-Vargas, 2000). Constituyen así un grupo versátil tanto por lo que se refiere a los diferentes hábitats edáficos en los que se encuentran, como a sus hábitos alimenticios, ya que son panfitófagos y predominantemente fungívoros, aunque también se alimentan de algas y detritus y algunos son depredadores (Bilde *et al.*, 2000; Castaño-Meneses *et al.*, 2004; Scheu & Folger, 2004; Sawahata, 2006; Sawahata & Narimatsu, 2007).

Figura 1. Porcentajes de artrópodos del suelo en un agroecosistema de alfalfa después de dos años que se adicionaron biosólidos a razón de 200 t/ha. a) parcelas con biosólidos en el primer año de aplicación y b) parcelas sin biosólidos; c) parcelas con biosólidos en el 2º año después de la aplicación de biosólidos y d) parcelas sin biosólidos.



Los colémbolos epiedáficos presentan una mayor variedad en sus hábitos alimenticios, ya que pueden ser detritívoros o depredadores, y están relacionados con los meso y macroartrópodos, puesto que constituyen el alimento de distintos grupos de ácaros, arañas, escarabajos y ciempiés (Ferguson & Joly, 2002). Los hemiedáficos y los

eudáficos, son principalmente fungívoros y bacteriófagos, pero también son presa para ciertos ácaros.

Composición específica de la comunidad de colémbolos con y sin biosólidos

Las especies de este grupo de artrópodos que han sido identificadas son *Hypogastrura assimilis*, Christiansen & Bellinger, *Ballistura schoetti*, Dalla Torre, *Entomobrya triangularis* Schött, *Seira purpurea* Schött, *Sphaeridia serrata* Folsom & Mills, *Adisianus maasius* Palacios-Vargas & González y *Proisotoma* sp. Börner (tabla 1). La familia de Hypogastruridae incluye las especies más comunes de este grupo de organismos. Los colémbolos de la familia Entomobryomorpha tienen fúrcula muy desarrollada y son también muy frecuentes en el suelo.

Tabla 1. Especies y densidades de poblaciones de colémbolos en agroecosistemas de alfalfa adicionados con 200, 400 y 800 ton/ha de biosólidos

Especie	Con biosólidos		
	200 ton/ha	400 ton/ha	800 ton/ha
<i>Hypogastrura assimilis</i>	433	46.483	440
<i>Ballistura schoetti</i>	17.938	6.463	1
<i>Entomobrya ca. triangularis</i>	3.202	536	620
<i>Proisotoma</i> sp.	38	0	463
<i>Seira purpurea</i>	956	136	138
<i>Sphaeridia serrata</i>	60	65	324
<i>Adisianus maasius</i>	27	0	12
Abundancia	22.654	53.683	1.998

Existen pocos trabajos en México sobre la composición específica de las comunidades de los colémbolos edáficos y menos aún en suelos agrícolas (Cutz-Pool *et al.*, 2007). Y no hemos encontrado nada en relación a estos organismos en agroecosistemas adicionados con biosólidos. Por eso los resultados expuestos en la tabla referida nos parecen importantes. Podemos ver así que hay mayor abundancia de estos organismos en campo cuando los suelos de alfalfa son adicionados con una dosis a razón de 400 t/ha, pero que esta abundancia se debe básicamente a *Hypogastrura assimilis*. Sin embargo, con este tratamiento no aparecen especies de *Proisotoma* ni

Adisianus maasius. Sin embargo, todas ellas están presentes en el tratamiento a razón de 800 t/ha.

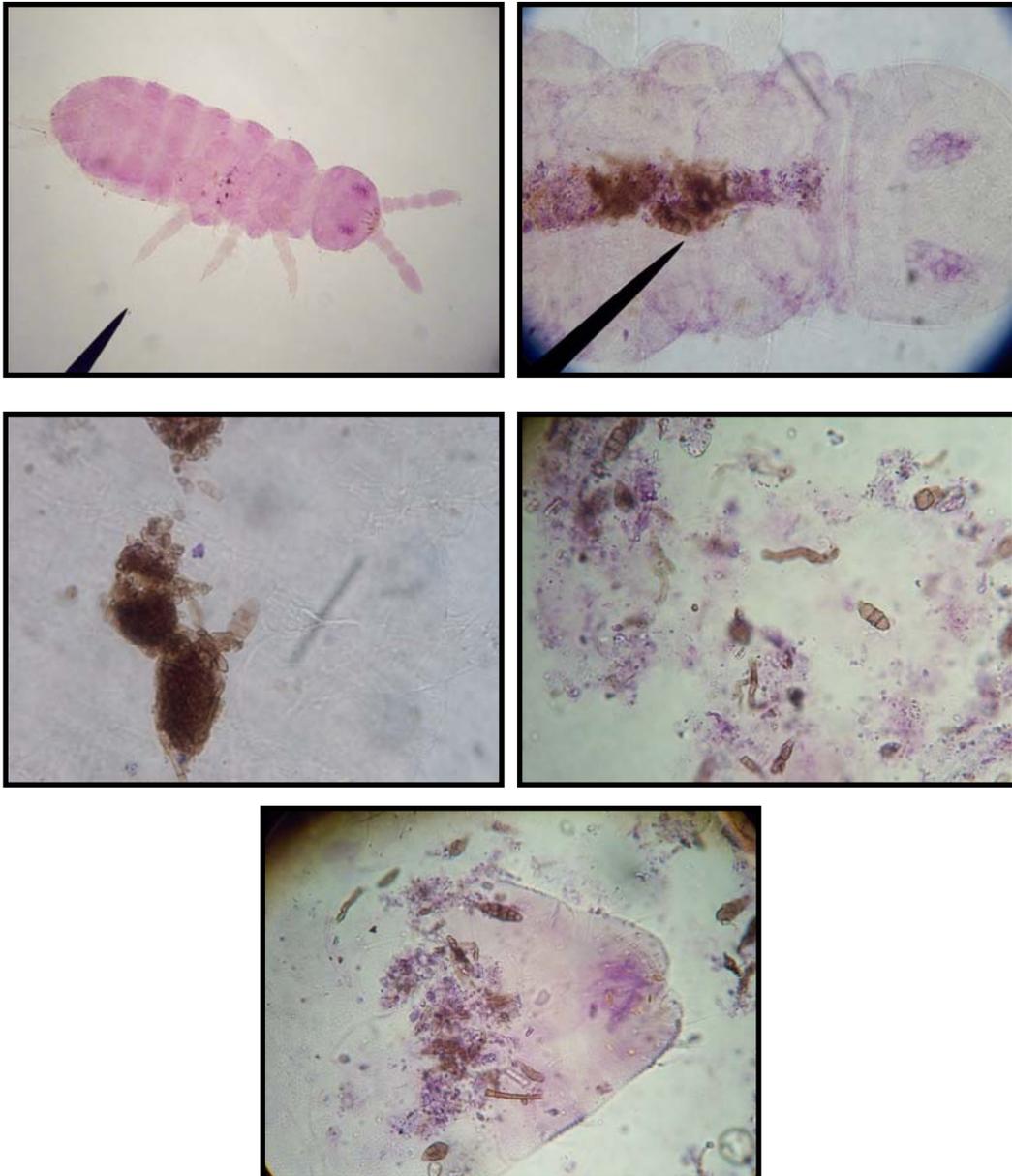
La especie más abundante con la aplicación de 200 t/ha es *Ballistura schoetti*, típica de habitats con altos niveles de materia orgánica incluyendo suelos tratados con aguas residuales (www.stevhopkin.co.uk). Esta especie es habitante secundaria de ambientes acuáticos y ha sido citada en diversas localidades de México, como en Xochimilco. Otra especie abundante corresponde a *Entomobrya ca. triangularis*, que se comporta como fungívora. Si se aplican 400 ton/ha al suelo de alfalfa, las mayores densidades corresponden a *Hypogastrura assimilis* que se comporta también como fungívora y a *Ballistura schoetti*. Otra población también de fungívoras con bastante abundancia en el tratamiento de 800 t/ha es *Proisotoma sp. Seira purpurea*, se reporta como epifítica y se alimenta de nemátodos y de exuvias de ácaros (Castaño-Meneses et al., 2004). Los Sminthuridae recolectados en este estudio mostraron densidades bajas, algunos son fungívoros y otros se alimentan de tejidos vegetales.

Tabla 2. Especies de colémbolos edáficos con aplicación de lodos residuales a razón de 800 ton/ha en campo y en suelo en un bioensayo en macetas pero ambos con alfalfa.

<i>Especie</i>	CAMPO	MACETAS
	800 ton/ha	
<i>Hypogastrura essa</i>	440	0
<i>Ballistura schoetti</i>	1	0
<i>Proisostoma sp.</i>	620	0
<i>Entomobrya ca. triangularis</i>	463	4
<i>Seira purpurea</i>	138	2
<i>Sphaeridia serrata</i>	324	0
<i>Sminthurus fitchi</i>	12	0

En la tabla 1 se puede observar también que la composición de especies de colémbolos con 200 y 800 ton/ha es igual y con 400 fue muy parecida también, obteniéndose un 71% de similitud entre los tratamientos estudiados.

Figura 2. Las fotografías obtenidas al microscopio que se muestran en esta figura, obtenidas en el análisis de las muestras de campo, permiten observar los conidios del hongo *Alternaria* sp., de los que se alimentan algunos colémbolos, como es el caso de *Ballistura schoetti*



Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en campo con una dosis de 800 t/ha y los obtenidos en el experimento en macetas en invernadero y expuestos en (Flores-Pardarvé et al., 2008), podemos hacer algunas consideraciones. Aunque las densidades de población lógicamente no pueden ser comparables al tratarse de diferentes escenarios (tabla 3), llaman la atención los valores obtenidos en el invernadero. Se observa que a

mayor densidad de ácaros, menor densidad de colémbolos para control, 400 y 800 t/ha de biosólidos. Sin embargo, para el caso del tratamiento con 200 t/ha se observa una abundancia menor de ácaros y por lo tanto una abundancia mayor en los colémbolos.

Tabla 3. Parámetros ecológicos de la fauna de colémbolos en el cultivo de alfalfa sin aplicación de biosólidos y con aplicación de biosólidos (200 y 400 ton/ha).

Parámetro ecológico	Sin biosólidos		Con biosólidos	
	Control		200 ton/ha	400 ton/ha
Riqueza de sp.	6	5	7	5
Abundancia	4.946	11.200	22.654	53.683
Diversidad (H')	1.19	1.41	1.02	0.65
Equitatividad (J')	0.46	0.63	0.36	0.28
Dominancia (D)	0.56	0.50	0.65	0.76

Con respecto a la riqueza de especies podemos ver en la tabla 3 que fue muy baja, solamente se encontraron ocho especies pertenecientes a seis familias: Hypogastruridae, Isotomidae, Entomobryidae, Bourletiellidae Sminthurididae y Sminthuridae, siendo Isotomidae y Entomobryidae las más abundantes. En otros estudios realizados en agroecosistemas mexicanos sin adicción de biosólidos se han encontrado hasta 29 especies (Cutz-Pool *et al.*, 2007). Probablemente, el tipo de suelo, el tipo de clima, el manejo del cultivo y el tipo de muestreo, pueden ser la causa de estas diferencias.

También la diversidad es baja, pero aún es menor con biosólidos, ya que estos subproductos del tratamiento de aguas residuales favorece la explosión demográfica de ciertas especies como es el caso de *Hypogastrura assimilis* y *Ballistura schoetti*. Los valores de equitatividad e índice de dominancia fueron similares sin y con biosólidos para 200 ton/ha; sin embargo, para 400 ton/ha existe una diferencia en los valores debido a la gran abundancia de *Hypogastrura assimilis* (Tabla 3).

Las interacciones entre los colémbolos de los suelos con aplicación de biosólidos y otras poblaciones edáficas

La adición de biosólidos al suelo trae como consecuencia un aumento en el contenido de materia orgánica y de salinidad, hecho que fue comprobado en los análisis

posteriores a su aplicación. Ello favoreció el crecimiento de ciertas poblaciones de colémbolos, que tienen hábitos fungívoros, como lo han comprobado varios autores.

Las fotografías obtenidas al microscopio óptico de contraste de fases que se muestran en la figura 3, de organismos del análisis de las muestras de campo, permiten observar conidios del hongo *Alternaria* sp., de los que se alimentan algunos colémbolos, como es el caso de *Ballistura schoetti*

Hanlon & Anderson (1979), observaron en pequeños microcosmos que los colémbolos incrementan la biomasa bacteriana y disminuyen la biomasa fungal. Diferencias en la mortalidad de hongos y bacterias pueden ocurrir porque las hifas son severamente dañadas físicamente por el forrajeo de los colémbolos, mientras que las esporas de los hongos y las bacterias rara vez se ven afectadas. Esporas y bacterias pueden ser observadas en los pellets fecales de los colémbolos (Borkott & Insam 1990; Lussenhop 1992; Thimm et al 1998). Estas cuestiones sugieren que no son digeridos por los colémbolos.

Los resultados comentados anteriormente respecto a las tablas 1 y 2 nos ha llevado a estudiar conjuntamente la dinámica de las poblaciones de colémbolos y la de los ácaros, como puede observarse en la figura 3. De acuerdo con Coleman et al. (2004), los colémbolos son importantes en la dieta de un gran número de ácaros Prostigmata de las familias Bdellidae, Cunaxidae. Estas dos últimas familias fueron identificadas en los muestreos realizados por nosotros para este estudio. Por tanto, podemos decir que cuando las poblaciones de colémbolos muestran mayores densidades debido a la gran proporción aportada de hongos a causa de dosis altas de biosólidos, favorecen a su vez a los depredadores de los, con lo que los ácaros se incrementan en el sistema.

Probablemente este tipo de interacción depredador-presa es especialmente importante en los agroecosistemas con aplicación de biosólidos o de algunos otros composts procedentes de otros residuos orgánicos.

Los colémbolos y el flujo del nitrógeno

Totalmente relacionado con el epígrafe anterior nos proponemos a continuación aproximarnos al conocimiento de las relaciones que tienen estos organismos del suelo con la dinámica del elemento que más se incorpora con la adición de lodos de depuradora al suelo. Un estudio de la dinámica del N en el suelo relacionado con los colémbolos puede verse en Verhoff & Goede (1985), si bien se trata para suelos

forestales. No parece ser habitual este tipo de trabajos para suelos agrícolas y, sin embargo, en el caso con aplicación de biosólidos en agroecosistemas, debería comenzarse a estudiar más. Con mayor razón si se trata de un sistema con cultivo de leguminosa como es el caso de la alfalfa (*Medicago sativa*), debido a la fijación de N atmosférico al suelo. La aportación de nitratos al suelo por parte de la alfalfa ha sido evaluada en 6,4 mg /100 g suelo (Hernández, datos sin publicar).

Figura 3. Dinámica de la abundancia de ácaros y colémbolos en el ensayo de invernadero (aplicaciones a razón de 200, 400 y 800 t/ha).

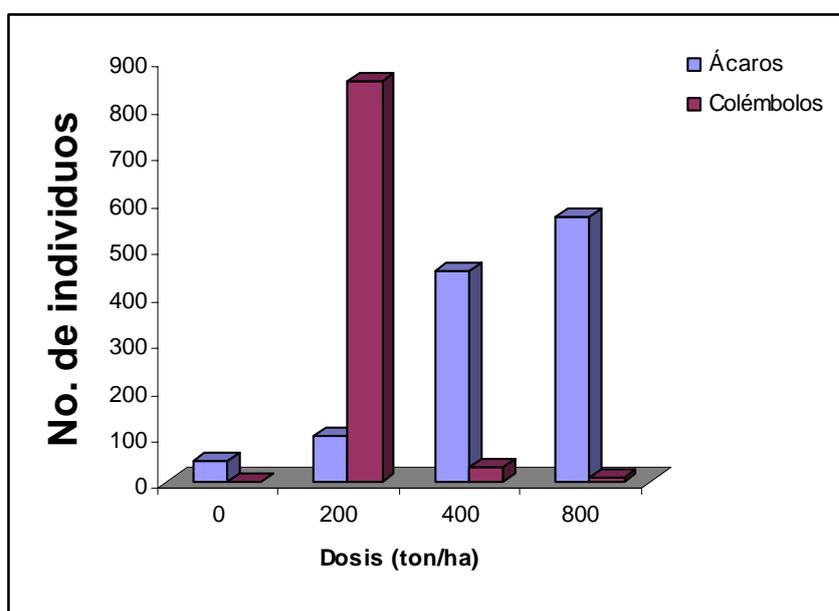


Tabla 5. Parámetros relacionados con la M.O. y el N en los suelos bajo los diferentes tratamientos en campo, así como con la abundancia de colémbolos

	Control	200 t/ha	400 t/ha	800 t/ha
MO %	3.5	7.13	2.6	5.6
N inorgánico %	34.5	40.5	43.7	54.9
C:N	6.8:1	8.2:1	7:1	n.d.
Abundancia	4946	22654	53683	1998

Exponemos en las tablas 5 y 6 los resultados relativos a la abundancia de colémbolos en los suelos de alfalfa sometidos a diferentes dosis de biosólidos a la vez que los niveles de los parámetros ligados al N en los respectivos suelos. Puede

observarse que, así como el N inorgánico aumenta según se incrementa la dosis aplicada, la abundancia de los colémbolos disminuye con la dosis más elevada. Ya se ha comentado anteriormente algunas causas de este descenso.

Figura 4. Dinámica estacional del conjunto de poblaciones de colémbolos durante dos años después de la aplicación de biosólidos en el agroecosistemas de alfalfa adicionado con 200 t/ha

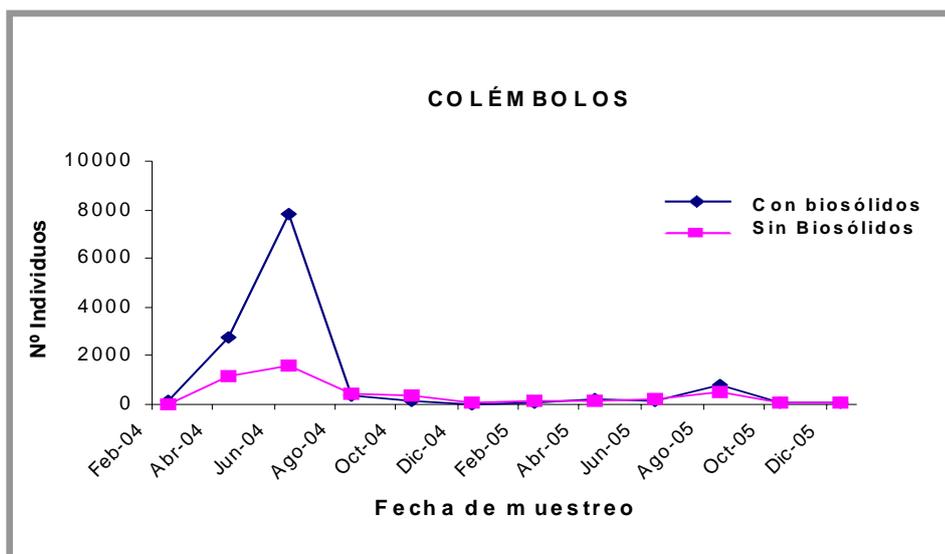
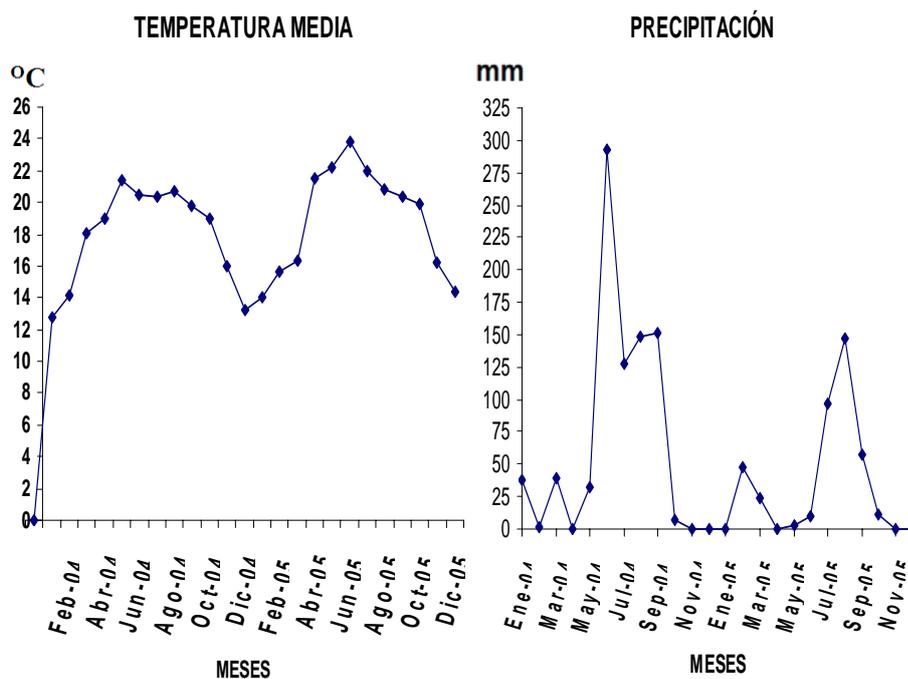


Figura 5. Temperatura y precipitación durante el periodo del ensayo



No obstante, puede observarse también en las figuras 4 y 5 que su densidad es mayor cuando se incrementa la Tª y la precipitación. Estos factores climáticos también son importantes para la descomposición de la M.O. del suelo. Sin embargo, sigue siendo probable que las altas abundancias de los colémbolos en esos meses de óptimos climáticos provoque el crecimiento de sus depredadores (ácaros), llegando prácticamente a desaparecer del sistema como se muestra en la figura 4.

Tabla 6. Valores de las correlaciones de Spearman's entre los colémbolos (abundancia) y % de M.O. y N en suelo

	Abundancia	M.O.	N
Dosis	0,036	0,000	1,000**
Abundancia	1	0,111	0,036
MO	0,111	1	0,000

Estos resultados nos llevan a afirmar que, aunque haya mucho N en forma inorgánica para ir entrando en la red trófica del sistema suelo, éste puede encontrarse inmovilizado por no tener suficiente densidad de colémbolos. Aunque esta cuestión deberá ser más profundizada, nuestros resultados y deducciones se aproximan a los expuestos en diversos estudios realizados en microcosmos (Hanlon & Anderson, 1979; Hanlon 1981; Bardgett, et al 1993). Dichos autores observaron que la mineralización del C presenta una curva de respuesta en forma de campana a la vez que una tendencia a disminuir en relación con la densidad de los colémbolos. Sin embargo, la mineralización del N puede tener relaciones variables con la densidad de estos organismos. También Verhoff et al. (1989), y Kaneda et al. (2007), observaron el efecto de los colémbolos en la mineralización del N y del C, mostrando que ambos aspectos se encuentran correlacionados positivamente.

CONCLUSIONES

En dos años después de haberse aplicado una dosis de 200 t/ha de biosólidos a un agroecosistema de alfalfa, el porcentaje de colémbolos fue el mayor entre los grupos de artrópodos colectados, si bien en el primer año presentó mayor abundancia que en el segundo la composición específica de dicho grupo arroja un total de ocho especies de colémbolos pertenecientes a seis familias en los agroecosistemas de alfalfa en el estado mexicano de Aguascalientes, siendo *Ballistura schoetti*, *Entomobrya ca. triangularis* y

Seira purpurea las más abundantes. La aplicación de biosólidos a razón de 200 t/ha propicia un gran desarrollo poblacional de *Ballistura schoetti* y de *Hypogastrura assimilis* con una aplicación de 400 t/ha.

La diversidad de especies fue baja en todas las condiciones experimentales, pero aún menor con biosólidos. Para los valores de equitatividad e índice de dominancia existe una diferencia sin y con biosólidos en el tratamiento con 400 t/ha debido a la gran abundancia de *Hypogastrura assimilis*. Pero se encontró una mayor diversidad de colémbolos con trampas pitfall que con la técnica del embudo de Berlesse-Tullgren.

La dinámica de la abundancia de ácaros y colémbolos mostró que a mayor densidad de ácaros menor densidad de colémbolos con dosis de 400 y 800 t/ha biosólidos y viceversa con 200 t/ha de biosólidos. La relación depredador-presa, así como los factores climáticos parecen ser responsables de la dinámica estacional de las poblaciones de colémbolos en este tipo de agroecosistema.

Por otra parte, la correlación fue significativa entre el nitrógeno y las abundancia de los colémbolos con diferentes dosis de biosólidos aplicados. Y además se ha observado el hábito alimenticio de *Ballistura schoetti* como colémbolo fungívoro al presentar conidos de hongo *Alternaria*, con lo que se demuestra el incremento de estos microinvertebrados por la adicción de materia orgánica implícita en los lodos residuales.

Agradecimientos: Al Dr. José Guadalupe Palacios Vargas, al Dr. Leopoldo Cutz Pool y a la Dra. Gabriela Castaño Meneses por la ayuda en la identificación de las especies.

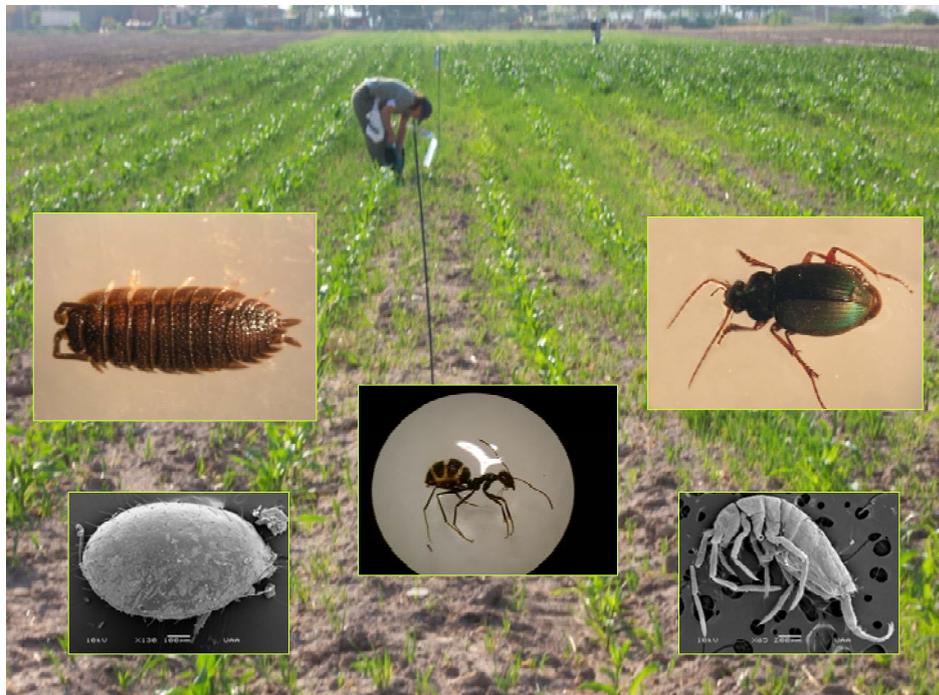
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Assiuty, A.I M., M.A. Khalil & 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.
- Bardgett R.D., J.C. Frankland & J.B. Whittaker. 1993. The effects of agricultural management on the soil biota of some upland grasslands. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 45: 25-45.
- Bilde, T.; J.A. Axelsen & S. Toft. 2000. The value of Collembola from agricultural soils as food for a generalist predator. *J. of Applied Ecology*, 37: 672-683.

- Brower, J.E., Zar, J.E. & von Ende, C. N. 1997. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. 4th ed. WCB Mc Graw Hill. 273 p.
- Borkott H. & H. Insam 1990. Symbiosis with bacteria enhances the use of chitin by springtail, *Folsomia candida* (Collembola). *Bio. Fertil Soils*, 9:126-129
- Castaño-Meneses, G., J.G. Palacios-Vargas & L.Q. Cutz-Pool. 2004. Feeding habits of collembola and their ecological niche. *Anales del Instituto de Biología Serie Zoológica*, 75: 135-142.
- Chambers, B.J., F.A. Nicholson, M. Aitken, E. Cartm & C. Rowlands. 2003. *Benefits of biosolids to soil quality and fertility*. *The Journal*, 17 (3): 162-167.
- Coleman, D.C., D.A. Crossle, Jr and P.F. Hendrix. 2004. *Fundamentals of Soil Ecology* 2nd ed. Elsevier Academic Press Burlington, Ma.
- Contreras, V. R. 2001. *Impacto en la ecología de algunos géneros del orden Collembola por la incorporación de contaminantes en suelos de San Salvador, Hidalgo, México*. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM, México 98 pp.
- Cutz-Pool, L.Q., J.G. Palacios-Vargas, G. Castaño-Meneses & N.E. García Calderón. 2007. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, Mexico. *Applied Ecology*, 36: 46-52.
- Ferguson, S.H. & D.O. Joly. 2002. Dynamics of springtail and mite populations: the role of density dependence, predation, and weather. *Ecological Entomology*, 27: 565-573.
- Flores-Pardavé, L., Flores-Tena, F.J., Hernández-Sánchez, A.J. 2008. Effect of heavy metals from amended biosolids soils sowed with forages on the abundance and biodiversity of edaphic arthropods. *Abstract The Third International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering (3IMEBE)* Palma de Mallorca, SPAIN 21-25 sept.
- Girovich, M.J. 1996. *Biosolids characterization, treatment and use: an overview*. In *M.J. Girovich Biosolids Treatment and Management: Processes for Beneficial Use*. Marcel Dekker, New York. 1-46.
- Hanlon R.D.G. & J.M. Anderson. 1979. The effects of Collembola grazing on microbial activity in decomposing leaf litter. *Oecologia*, 38:93-99.

- Hanlon R.D.G. 1981. Influence of grazing by Collembola on the activity of senescent fungal colonies grown on media of different nutrient, concentration. *Oikos*, 36:362-367.
- Kaneda S. & N. Kaneko. 2007. Collembolans feeding on soil affect carbon and nitrogen mineralization by their influence on microbial and nematode activities. *Bio. Fertile Soils*, 44:435-442.
- Lenoir, L., T. Persson, J. Bengtsson, H. Wallander & A. Wiren. 2007. Bottom-up or top-down control in forest soil microcosms? Effects of soil fauna on fungal biomass and C/N mineralisation. *Biol. Fertile Soils*, 43: 2281-294.
- Lussenhop J. 1996. Collembola as mediators of microbial symbiont effects upon sorben. *Soil Bio. Biochem*, 28:363-369.
- Palacios-Vargas, J.G. 2000. Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas*, 29: 12-14.
- Paoletti, M. G. 1999. *Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74: 1-18.
- Sawahata, T. 2006. Hymenial area of agaric fruit bodies consumed by Collembola. *Mycoscience*, 47: 91-93.
- Sawahata, T & M. Narimatsu. 2007. Abundance of Collembola (Insecta) inhabiting the hyphal mat of an ectomycorrhizal fungus, *Sarcodon scabrosus*, in a *Pinus densiflora* forest. *Mycoscience*, 48: 63-65.
- Scheu, S. & M. Folger. 2004. Single and mixed diets in Collembola: effects on reproduction and stable isotope fractionation. *Functional Ecology*, 18: 94-102.
- Thimm T. & A. Hoffmann, H. Brokott, J.C. Munch & C.C. Tebbe. 1998. The gut of the soil microarthropod *Folsomia candida*(Collembola) is a frequently changeable but selective habitat and a vector for microorganism. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64:2660-2669.
- Verhoef H.A. & G.M. Goede. 1989. Effects of collembolan grazing on nitrogen dynamics in a coniferous forest. *Bio Fertile Soils*, 8: 255-259.

GRUPOS FUNCIONALES DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS EN
AGROECOSISTEMAS DEL ALTIPLANO MEXICANO
CON ADICIÓN DE BIOSÓLIDOS



**GRUPOS FUNCIONALES DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS EN
AGROECOSISTEMAS DEL ALTIPLANO MEXICANO
CON ADICCIÓN DE BIOSÓLIDOS**

RESUMEN

Este trabajo pone de manifiesto los grupos funcionales de los artrópodos del suelo en agroecosistemas con aplicación de biosólidos en cuatro grandes líneas de acción: (1) grupos tróficos, con especial relevancia de los detritívoros/microherbívoros. Se muestra la importancia del detritus en el flujo de energía en estos agroecosistemas enriquecido con materia orgánica y nutrientes, así como la importancia de los colémbolos y los ácaros como los importantes eslabones de la fauna de artrópodos edáficos entre el detritus y los depredadores. (2) grupos funcionales vinculados a los flujos de N y de P en el suelo (colémbolos y ácaros); (3) grupos funcionales para la mejora de la estructura de la capa superficial edáfica (colémbolos, ácaros, coleópteros y heminópteros); (4) un grupo funcional como acumulador de metales pesados del suelo (isópodos).

Palabras clave: ácaros, colémbolos, coleópteros, isópodos, detritívoros, microherbívoros

ABSTRACT

This work demonstrates the functional groups of soil arthropods in agroecosystems with application of biosolids in four lines: (1) trophic groups, with particular importance of detritivores / microherbivores. indicate the importance of detritus in the energy flux of this ecosystem enriched with organic matter and minerals from the biosolids as well as the importance of collembolan and mites as linkage between detritus and predators, (2) functional groups linked to the flows of N and P in soil (springtails and mites), (3) functional groups to improve the structure of the surface soil (springtails, mites, beetles and heminópteros), (4) a functional group heavy metal accumulator (isopods),

Keywords: Mites, Springtails, beetles, isopods, detritivores, microherbivores

INTRODUCCIÓN

Los organismos heterótrofos del suelo forman dos grandes grupos: la microflora, integrada por bacterias y hongos que participan básicamente en la cadena del detritus, y los animales que participan en la cadena de los forrajeros (consumidores de plantas) y, casi siempre, de manera más frecuente en la del detritus. Los animales del suelo son numerosos y diversos e incluyen representantes de la mayoría de los *phyla* terrestres, aunque muchos grupos de especies están poco estudiados porque se desconocen aspectos de su biología e historia natural (Coleman *et al.*, 2004).

La fauna del suelo está estrechamente ligada con los microorganismos, las plantas y la estructura y composición del suelo, por lo que constituye un componente clave para entender el ecosistema edáfico (Eisenbeis & Wichard, 1987). Pero las cadenas y redes tróficas del suelo son complejas, ya que existen relaciones entre los subsistemas epígeo (por encima de la superficie) y el situado por debajo de la misma, así como a diferentes escalas espaciales, además de estar constituidas por diversas interacciones de depredación, mutualismo y simbiosis, entre la microflora y la fauna edáfica (Wardle, 2002).

Los artrópodos edáficos forman parte importante de dichas redes tróficas, las cuales varían a su vez en complejidad, debido a las condiciones abióticas y bióticas del suelo, así como a las variaciones climáticas, estado de desarrollo y grado de alteración del ecosistema. La mayoría de estos invertebrados del suelo están involucrados en muchos aspectos de la descomposición de la materia orgánica, en la regulación de las actividades microbianas, parcialmente en los ciclos nutritivos y en la estructura desintegradora. Dependiendo de sus hábitos alimenticios estos organismos suelen ser clasificados en macrofitófagos, microfitófagos, saprofitófagos, zoófagos y coprófagos. También en fungívoros, depredadores y detritívoros (Cloudley & Thomson, 1974). Aunque lo más frecuente en estudios de tipo ecológico es su identificación por grupos funcionales en herbívoros, carnívoros y detritívoros (Perner *et al.*, 2005).

Teniendo en cuenta las cuestiones que acabamos de señalar, pretendemos profundizar en este trabajo sobre estos aspectos para el caso de dos agroecosistemas muy representativos del altiplano mexicano. Conociendo que la materia orgánica que es añadida al suelo mediante los lodos de depuradoras, conlleva múltiples beneficios a la fertilidad del suelo que facilita la incorporación de microorganismos y microbívoros

mejorando el funcionamiento del subsistema edáfico (Neher, 1999), así como la biodiversidad de artrópodos (Flores *et al.*, 2008 a) y b), pensamos que podemos permitirnos señalar algunas de las relaciones tróficas de los grupos y especies más abundantes en este tipo de sistemas. Pero, además, acercarnos al conocimiento de grupos funcionales relacionados con aspectos no tróficos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Con los datos expuestos en Flores-Pardavé *et al.* (2008-a y b), así como fuentes bibliográficas y observaciones a lo largo de un amplio estudio relacionados con un gran n° de muestras recogidas en dos agroecosistemas con adición de biosólidos, artrópodos edáficos recolectados con trampas pitfall durante dos años consecutivos en suelos con cultivos de alfalfa y de maíz fertilizados con biosólidos, se han sistematizado las relaciones tróficas presentes en estos agroecosistemas. Los análisis de los parámetros edáficos se han realizado según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Grupos funcionales en las relaciones tróficas del ecosistema suelo

El balance total de artrópodos recogidos durante dos años después de la aplicación de los biosólidos estuvo representado por un total de 280 morfoespecies en el agroecosistema de la alfalfa y 148 en el del maíz. Los grupos mejor representados por su abundancia fueron los ácaros, colémbolos, coleópteros, dípteros, arañas y hormigas (Flores *et al.*, 2008).

Una vez que los biosólidos se incorporaron al suelo y que las condiciones ambientales de T^a y humedad se incrementaron en el verano tropical, el proceso de la descomposición de la materia orgánica del mismo se aceleró, y con ello los microorganismos, bacterias y hongos pudieron tener un gran desarrollo. Esto fue lo que probablemente produjo un incremento considerable de microartrópodos, especialmente colémbolos como *Ballistura schoetti*, *Entomobrya triangularis*, *Seira purpurea* e *Hipogastrura essa*, además del ácaro *Ceratozetes* sp. Todos ellos son conocidos como **fungívoros** porque su alimento principal son los hongos que se encuentran en los detritus (Castaño-Meneses *et al.*, 2004; Palacios-Vargas, 2000; Sawahata, 2006; Sawahata & Narimatsu, 2007; Scheu & Folger, 2004).

Precisamente, en el proceso de recuento e identificación de los artrópodos, pudimos observar la presencia de hongos dentro algunos colémbolos. Son también conocidas las preferencias de algunos colémbolos por las micorrizas y hongos saprofitos de plantaciones de pinos (Shaw, 1985), así como las interacciones entre estos microartrópodos del suelo y las asociaciones de micorrizas con otras muchas plantas superiores (Finley, 1985). Por esta razón a los colémbolos se les considera también con función de pastoreo selectivo de hongos y de raíces, pudiendo ejercer a la vez como agentes en el control biológico de plagas. Este grupo en los agroecosistemas sirve pues de alimento alternativo a sus enemigos naturales en algunas épocas más adversas para el cultivo (Nicholls y Altieri, 2006).

Así pues, los colémbolos ocupan todos los niveles tróficos a partir de los detritus y junto a los ácaros alcanzan el 95% de los microartrópodos en suelos. Debido a ello este grupo tienen una gran importancia agronómica

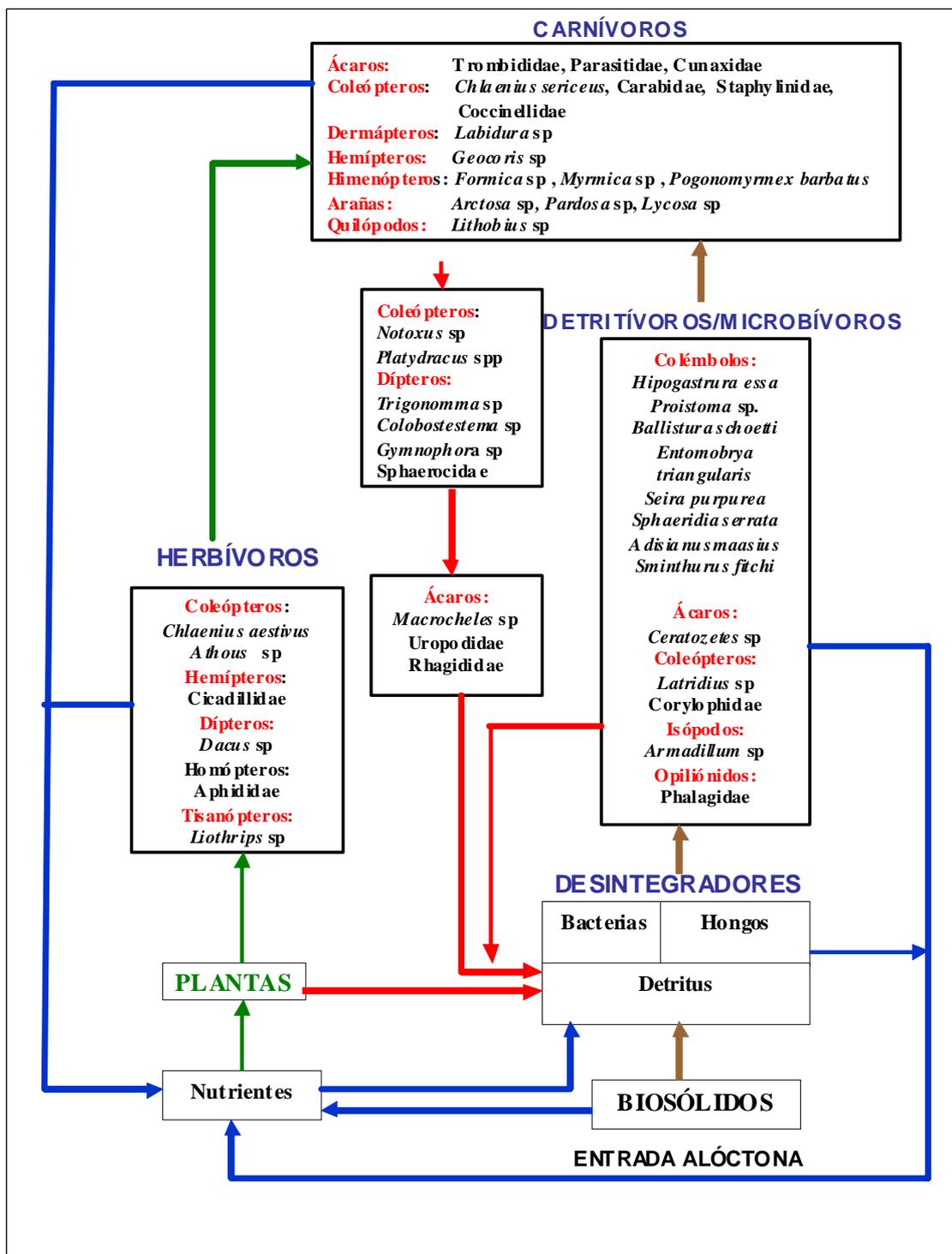
Con menor densidad también se encontraron ácaros **detritívoros** como *Macrocheles* sp y otros de las familias *Uropodidae* y *Rhagididae*; además isópodos del género *Armadillum*, opiliónidos de la familia *Phalagidae* y coleópteros de la familia *Corylophidae*. Como **carroñeros** en el detritus del suelo los representantes más conspicuos fueron coleópteros de los géneros *Notoxus* y *Platydracus* y dípteros de los géneros *Trigonomma*, *Colobostestema* y *Gymnophora*.

Los detritívoros forman un grupo trófico de carácter generalista (no especializado) que para alimentarse toman el propio detritus y las poblaciones de la microflora asociadas a él. Su acción principal, como su nombre indica, es la trituración de los restos vegetales por lo que cumplen también una función de mejora de la estructura del suelo.

Los artrópodos **depredadores** en el suelo tienen una movilidad mucho mayor que los artrópodos fungívoros y los detritívoros, y atacan a sus presas tanto en la superficie del mismo como en los primeros centímetros de la capa superficial edáfica. De acuerdo a la disponibilidad de alimento pueden ser específicos o generalistas, siendo ésta última situación la más común. Así, varios de ellos se alimentan tanto de fungívoros, detritívoros o carroñeros que se encuentran en el detritus, pero también de fitófagos que, una vez que estos se alimentan del cultivo, deambulan por el suelo.

Entre los depredadores de las cadenas tróficas del suelo encontramos una gran variedad de artrópodos que varían en forma y en tamaño. Se encuentran desde los ácaros pequeños hasta los grandes quilópodos y arañas, además de las hormigas y de

varios coleópteros. Como representantes de este nivel trófico hemos identificado ácaros de las familias *Cunaxidae*, *Parasitidae* y *Trombididae*, coleópteros de las familias *Carabidae*, *Coccinellidae* y *Staphylinidae*, así como a la especie *Chlaenius sericeus*, el Figura1. Diagrama de las relaciones tróficas de los artrópodos edáficos en los agroecosistemas de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos. Las flechas verdes representan el flujo de materia a través de la vía de los denominados también artrópodos forrajeros. Las flechas castañas representan la vía de los desintegradores. Las flechas rojas representan el flujo de la materia autóctona al “pool” del detritus. Las flechas azules representan la vía de mineralización e inmovilización de nutrientes.



dermáptero *Labidura* sp, el hemíptero *Geocoris* sp, las hormigas de los géneros *Formica*, *Myrmica* y la especie *Pogonomyrmex barbatus*, las arañas de los géneros *Arctosa*, *Lycosa* y *Pardosa* y el milpiés *Lithobius* sp. El grupo de los depredadores presenta una abundancia menor que la del los detritívoros, aunque su presencia se mantuvo, con ligeros cambios, en el período de estudio.

Los **fitófagos** que fueron recogidos mediante las trampas pitfall representaron solamente una fracción de los herbívoros que se alimentan de los cultivos considerados. Entre ellos caben destacar por una mayor abundancia los coleópteros (*Chlaenius aestivus* y *Athous* sp.), hemípteros de la familia *Cicadillidae*, el díptero *Dacus* sp, el tisanóptero *Liothrips* sp y varios *Aphididae*. Todos ellos son consumidores primarios asociados tanto a las plantas de los cultivos, como a las malezas presentes en ellos.

Dado que la naturaleza de un estudio acerca de las relaciones tróficas de mayor interés en el suelo son las que están vinculadas directamente con el detritus, hemos considerado tener en cuenta el diagrama generalizado que presentan Moore *et al.* (2004), como referencia o marco conceptual para realizar el esquema que se presenta en la figura 1. Los resultados expuestos en el trabajo de Flores-Pardavé et al. (2008-a), así como diversas observaciones realizadas durante el ensayo presentado en Flores-Pardavé et al. (2008-b), han sido tenidos en cuenta para la elaboración de dicho esquema. Aunque no es posible deslindar la cadena de los herbívoros forrajeros de la cadena del detritus, si bien ésta puede considerarse una vía con cierta independencia de acuerdo al interés del estudio de los grupos funcionales de artrópodos de agroecosistemas con adición de biosólidos.

Puede así observarse en la figura 1 que la vía de los forrajeros que se origina de los productores primarios y la vía de los desintegradores que se origina a partir del detritus, reciben entradas de material alóctono. En los agroecosistemas adicionados con biosólidos, éstos constituyen la principal fuente alóctona, con lo que representamos en el esquema las principales líneas de flujos que pensamos pueden darse en los agroecosistemas estudiados. Queda también representada la relación entre ambas rutas y el cierre de ambos circuitos con el proceso de mineralización de los nutrientes, al que nos referiremos a continuación.

Aunque existen interacciones tróficas específicas, gran parte de los detritívoros y de los depredadores son de tipo generalista y también es frecuente la **omnivoría** entre estos artrópodos edáficos (Moore et al., 2004; Scheu, 2001; Schneider *et al.*, 2004).

Con lo expuesto podemos decir que todos los grupos de artrópodos edáficos se incluyen en alguno de los eslabones de la compleja red trófica del suelo, pero destacamos a los detritívoros/microherbívoros como grupos funcionales más desarrollados en los agroecosistemas de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos

2. Grupos funcionales de artrópodos edáficos vinculados a los flujos del N y del P

La mesofauna del suelo (nematodos y microartrópodos) ocupa todos los niveles tróficos de la cadena de alimentos en el mismo, afectando directamente a la producción primaria por comedores de raíces, e indirectamente por su contribución a la descomposición y mineralización de nutrientes (Hernández et al., 1989 y 1990; Pastor et al., 1995; Neher, 1999). Aunque la estructura de la cadena trófica varía con la geografía y el clima, mostramos a continuación algunas consideraciones relativas al papel de los artrópodos en este flujo de nutrientes en el suelo.

Tabla 1. Valores de correlación de Spearman entre el N inorgánico y el P intercambiable de los suelos con la abundancia de los microartrópodos en los mismos

ALFALFA		
	N	P
Ácaros	0,541**	0,110
Colémbolos	0,691**	0,151
MAÍZ		
Ácaros	0,049	-0,158
Colémbolos	0,603**	0,398*

Se ha dicho (Wolters, 2000), que los animales del suelo contribuyen a la estabilización y desestabilización de la materia orgánica en el mismo, afectando simultáneamente procesos químicos, físicos y microbiológicos de distinto orden de magnitud. Pero sin duda, se reconoce que del 20 al 50% del retorno de nutrientes (mineralización) ocurre en presencia de la fauna edáfica, siendo los colémbolos especialmente importantes en la mineralización del N. Al ser los insectos más abundantes del suelo, incluso uno de los de mayor abundancia en aquellos con

aplicación de los biosólidos durante los primeros meses que siguen a dicha fertilización, parece obligado el estudiar su contribución a la dinámica del N en el suelo.

Los resultados expuestos en la tabla ofrecen observar cómo los dos grupos de microartrópodos (colémbolos y ácaros) están significativamente correlacionados en positivo con el contenido de N inorgánico de los suelos de los agroecosistemas de alfalfa con adicción de biosólidos. Y ello se mantiene para el caso de los colémbolos en el cultivo del maíz. En este último agroecosistema también dicho grupo de microartrópodos está positivamente correlacionado con el nivel de P intercambiable en el suelo con esta aplicación de residuos orgánicos. Probablemente los colémbolos son un grupo funcional para el flujo de estos dos nutrientes en el suelo, al igual que ocurre con los nematodos edáficos (Hernández et al., 1990, Pastor et al., 1995). En el trabajo de Usher (1985), también se puso de manifiesto en relación a plantas de cultivo que los colémbolos incrementan la absorción del P. De la misma manera se expresa Lussenhop (1996), aunque no con altas densidades de colémbolos.

En la amplia revisión realizada por Luxton (1982), se comenta que los invertebrados del suelo son particularmente importantes en la retención interna y el reciclaje del N y del P. las tasas de movimiento de los nutrientes esenciales en los procesos de descomposición en los ecosistemas terrestres son un importante regulador de la producción primaria, ya que la misma esta basada en el capital de los nutrientes acumulados.

El aumento de N en la fertilización también incrementa la abundancia de ácaros en el suelo (Altieri & Nicholls, 2003), como nosotros hemos comprobado (Flores-Pardavé et al, 2008-b). Pero estos autores también han hablado de los efectos indirectos del N del suelo en cuanto al daño causado por artrópodos, especialmente ácaros (Nicholls & Altieri, 2006).

A pesar de la información favorable al empleo de residuos orgánicos, se reconoce que deben ser utilizados con prudencia y tener en cuenta algunas consideraciones, como son las concernientes a que los procesos de **mineralización** se desarrollen adecuadamente. Una elevada relación C/N puede plantear riesgo en la demanda de nutrientes para activar los procesos biológicos que actúan sobre los compost incorporados para fertilización de suelos. Ocurre lo contrario con el proceso de **nitrificación**, es decir, que el N inorgánico pasa a orgánico debido a que numerosos

microorganismos utilizan el N mineral del suelo para la síntesis de sus propias moléculas, incluso si se trata de un sistema cultivado con una leguminosa, como se expone en el trabajo de Zeng et al (1993). Pero la inmovilización del N decrece con el tiempo. Otros autores (Anderson et al. 1985), también comentan que los invertebrados del suelo tienen papeles cuantitativamente importantes en los flujos de nutrientes, particularmente en la movilización y mineralización del N.

3. Grupos de artrópodos con función en la mejora de la estructura del suelo

Suele reconocerse como una función de los artrópodos edáficos la mejora de la estructura del suelo. Y también, suele ser frecuente hablar de este efecto beneficioso aportados por la aplicación de lodos residuales. Sin embargo, no es nada frecuente el encontrarse con especificidad de estos invertebrados de la fauna edáfica ni con datos de orden cuantitativos.

Tabla 2. Valores de correlación de Spearman entre parámetros edáficos relacionados con la estructura del suelo y abundancia de artrópodos en los dos agroecosistemas con aplicación de biosólidos (81 observaciones o trampas)

ALFALFA					
Artrópodos	Dens.Apar	Arena	Limo	Arcilla	M.O.
Ácaros	-0,347	-0,444*	-0,076	0,423*	-0,076
Colémbolos	-0,524**	-0,666**	-0,105	0,629**	-0,105
Coleópteros	-0,530**	-0,565**	0,082	0,449*	0,082
Himenópteros	0,169	-0,152	-0,601**	0,432*	-0,601**
MAÍZ					
Ácaros	0,219	0,219	-0,219	-0,219	-0,207
Colémbolos	-0,868**	-0,868**	0,868**	0,868**	0,131
Coleópteros	-0,353	-0,353	0,353	0,353	-0,066
Himenópteros	0,076	0,076	-0,076	-0,076	0,415*

De todos los grupos taxonómicos que presentan mayores abundancias en los suelos con aplicación de biosólidos, nosotros hemos estudiado los dos de los microartrópodos (ácaros y colémbolos) y otros dos de los macroartrópodos (coleópteros e himenópteros), en relación a varios parámetros ligados a la estructura física de la capa superficial edáfica. En la tabla 2 se pueden observar las correlaciones entre la abundancia de estos grupos y dichos parámetros. La densidad aparente de la capa superficial edáfica (0-10 cm) presenta correlaciones negativas significativas con los colémbolos en los dos tipos de agroecosistema y con los coleópteros en el caso de la

alfalfa. Es decir, que cuando la compactación del suelo es mayor, la abundancia de estos grupos disminuye. Pero en el caso de tener una densidad aparente (1.16), debida el incremento de la materia orgánica incorporada mediante biosólidos, estos organismos ayudan a permear este horizonte edáfico. Así mismo, la arcilla presenta correlaciones positivas significativas con los cuatro grupos para el caso de la alfalfa

4. Artrópodos edáficos con función de acumulación de metales pesados del suelo

Puede parecer arriesgado el considerar a algunos artrópodos como acumuladores de metales pesados en un suelo. Sin duda esta cuestión será objeto de investigación futura por nuestra parte. Y ello es debido al hecho de haber conocido el trabajo de Odendaal & Reinecke (2004), que se habla de los organismos Isopoda como acumuladores de metales pesados del en sus tejidos. En la tabla 3 se muestra como siempre la abundancia de este grupo es mayor en los suelos con biosólidos que en sus respectivos controles en el estudio que hemos realizado. Por ello deberíamos analizar con más detenimiento este grupo de artrópodos edáficos en relación a qué tipo de metales puede acumular, si bien parece ser que Zn y Cd según el trabajo citado. De cualquier forma, puede deducirse por los resultados expuestos en dicha tabla que altas aplicaciones de biosólidos hace disminuir sus poblaciones

Tabla 3. Densidad máxima de Isópodos (prácticamente correspondiente a poblaciones de *Armadillium* sp (cochinillas) en 6 muestras de cada uno de los agroecosistemas estudiados con diferentes dosis de biosólidos aplicadas al suelo

	ALFALFA		MAÍZ	
	200 t/ha	800 t/ha	200 t/ha	300 t/ha
Con biosólidos	54	29	60	13
Sin biosólidos	21	15	9	0

Si bien esta cuestión pudiera ser útil en cuanto a que estos invertebrados no dejasen pasar metales pesados a otras profundidades, el hecho de que ellos formen parte de las cadenas tróficas del sistema, repercutiría en otros niveles superiores de la misma, ocasionando toxicidad al ser los metales acumulativos. De todas formas, pensamos que estos artrópodos podrían comenzar a utilizarse en ensayos de ecotoxicología, ya que organismos del género *Armadillium* podrían considerarse como especie-test , y no se tendría que utilizar solamente el

colémbolo del género *Folsomia*, que es un microinvertebrado con menos nivel de extrapolación de resultados en ecotoxicología de comunidades terrestres.

CONCLUSIONES

Los artrópodos en suelos con aplicación de biosólidos están implicados en la compleja red trófica que se lleva a cabo en el suelo. Sin embargo los principales grupos funcionales en los agroecosistemas forrajeros estudiados son los microartrópodos (colémbolos y ácaros). La cadena del detritus es la más importante para los artrópodos edáficos, siendo dichos grupos clave para la conversión del detritus en biomasa, la cual es utilizada posteriormente por los diferentes grupos de depredadores. La adición de biosólidos incrementa el número de detritívoros y con ello se ven favorecidas las poblaciones de las especies relacionadas con estos artrópodos edáficos. Por otra parte también los colémbolos y los ácaros forman parte de los grupos funcionales involucrados en la dinámica de los flujos del N y del P.

Además de ácaros y colémbolos, los coleópteros y los hemípteros parecen cumplir una función importante con la mejora de la estructura de los primeros cm del suelo al que se incorporan dosis elevadas de biosólidos, ayudando, como es lógico al incremento de oxígeno en los mismos. Finalmente, los isópodos al poder acumular metales pesados en su organismo, podrían vincularse a ensayos ecotoxicológicos para evaluar la salud del suelo.

Agradecimientos: al Programa EIADES de la Comunidad de Madrid

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson J.M., S.A. Huish, P. Ineson, M. A. Leonard & R. Splatt. 1985. Interactions of invertebrates, micro-organisms and tree roots in nitrogen and mineral element fluxes in deciduous woodland soils. Special publication of the British Ecological Society 4: 377-392
- Castaño-Meneses G., et al. 2004. Feeding habits of collembola and their ecological niche. *Anuales del Instituto de Biología Serie Zoología*, 75 (1): 135-142,
- Cloudley & Thomsom. 1974. *Microecología*. Editorial Omega. Barcelona. 53 pp.
- Coleman D.C., et al. 2004. *Fundamentals of Soil Ecology 2nd* Ed. EEUU Elsevier Academic Press Burlington, Ma.

- Eisenbeis G., & W. Wichard. 1987. *Atlas on the biology of soil arthropods*. Alemania: Springer Verlag. pp 1-20.
- Finley R.D. 1985. Interactions between soil micro-arthropods and endomycorrhizal associations of higher plants. *Ecological Interactions in soil*. Eds. A. H. Fitter, D. Atkinson, D.J. Read & M.B. Usher. Pp.1-22. Blackwell, Oxford.
- Flores-Pardarvé L.; Escoto, R.; Flores-Tena, F. J.; Hernández, A. J. 2008-a. Estudio de la biodiversidad de artrópodos en suelos de alfalfa y maíz con aplicación de biosólidos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 40: 11-18
- Flores-Pardavé, L.; Hernández, A. J.; Flores-Tena, F.J. 2008-b). Bioensayo experimental para el estudio de la biodiversidad de artrópodos edáficos en los cultivos de maíz y alfalfa al ser aplicados lodos residuales de la planta depuradora de Aguascalientes (México) CD Libro de Actas del VIII CONGRESO SEAE sobre “Cambio climático, biodiversidad y desarrollo rural sostenible” y IV Congreso Iberoamericano Agroecología .BULLAS (Murcia) Jose M^a Egea Fernández (Coord.), CD Editado por SEAE, Valencia, Spain ISBN 978-84-612-5722-5
- Hernández, A. J.; Pastor, J.; Oliver, S. 1989. Relationships between root morphology and nutrient uptake in winter-flooded mediterranean grassland. In: XVI^o *International Grassland Congress*. Ed. Dauer: 15-16. Nice, France.
- Hernández, A. J.; Pastor, J.; Bello, A. 1990. Grassland Production and Nematodes in the soil surface layer in mediterranean environments. In: *Soil-Grassland-Animal Relationships*. Ed. European Grassland Federation: 382-386. Praga, Checoslovaquia.
- Lenoir, L., T. Persson, J. Bengtsson, H. Wallander & A. Wiren. 2007. Bottom-up or top-down control in forest soil microcosms? Effects of soil fauna on fangal biomasa and C/N mineralisation. *Biol. Fértil Soils*, 43: 2281-294.
- Lussenhop J. 1996. Collembola as mediadores of microbiol symbiont effects upon sorben. *Soil Bio. Biochem*, 28:363-369.
- Luxton, M. 1982. General ecological influence of the soil fauna on decomposition and nutrient circulation", *Oikos*, 39, 355-388.
- Moore J.C., et al. 2004. *Detritus, trophic dynamics and biodiversity*. *Ecology Letters*, 7:584-600.

- Neher D.A. 1999. Soil community composition and ecosystem processes. Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*, 45: 159-185.
- Nicholls M.A. & C.A. Altieri . 2003. Soil fertility and insecto pests: harmonizing soil and plant Elath in agroecosystems. *Soil & Tillage Reseach* 72: 203-211.
- Nicholls M.A. & C.A. Altieri . 2006. Manejo de la fertilidad de suelos e insectos plaga: armonizado la salud del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 77: 8-16
- Odendaal, J.P. & Reinecke, A.J. 2004. Effect of metal mixtures (Cd and Zn) on body weight in terrestrial isopods. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 46: 377-384.
- Palacios-Vargas J.G. 2000. Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas*, 29:12-14.
- Pastor, J.; Hernández, A. J. & Bello, A. 1995.- Nutrient Recycling as an ecological basis for the technologies involved in a sustainable development in semiarid mediterranean rangelands. *Bull. Univ. Agricultural Sciences*, I: 175-189.
- Pernes J., C. Wytrykush, A. Kahmen, N. Buchmann, I. Egere, S. Creutzburg, N. Odat, V. Audorff & W. W. Weisser. 2005 Effects of plant diversity, plant productivity and habitat parameters on arthropod abundance in montane European grasslands. *Ecography* 28:429-442.
- Sawahata T. 2006. *Hymenial area of agaric fruti bodies consumed by Collembola. Mycoscience*, 47: 91-93.
- Sawahata T. & M. Narimatsu. 2007. Abundance of Collembola (Insecta) inhabiting the hyphal mat of an ectomycorrhizal fungus, *Sarcodon scabrosus*, in a *Pinus densiflora* forest. *Mycoscience*, 48: 63-65.
- Scheu S. 2001. *Plants and generalist predators as mediators between the bellow-ground and the above-ground system. Basic and Applied Ecology*, 2: 3-13.
- Scheu S. & M. Folger. 2004. *Single and mixed diets in Collembola: effects on reproduction and stable isotope fractionation. Functional Ecology*, 18: 94-102.
- Schneider, K., S. Migge, R.A. Norton, S. Scheu, R. Langel, A. Reineking & M. Maraun. 2004. Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Oribatida, Acari): evidence from stable isotope ratios ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$). *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1769-1774.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología. 2002. *Plan Nacional de Monitoreo Ambiental*. 16 pp.

Usher M.B. 1985. Population and communiti dynamic in the soil ecosystem. *Ecological Interactions in Soil*. Fitter(Ed) 2: 4-6.

Wardle D.A. 2002. *Communities and Ecosystems: Linking the avobeground and belowground components*. Princeton University Press. USA. 400 pp.

Wolters, V. 2001. Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, 37: 221-227.

Zeng M., A. G. Campbell & R.L. Marhler. 1997. Long yard fines as soil amendments pot and fields studies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24(1516): 2025-2041.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES GENERALES

Los objetivos que nos propusimos alcanzar con esta investigación han sido alcanzados mediante los resultados expuestos en los capítulos precedentes. Ellos muestran con más detalle las distintas conclusiones a las que hemos ido llegando en el abordaje de cada uno de los objetivos parciales que se exponían en el capítulo 1 de esta memoria. No obstante se señalan a continuación las conclusiones generales:

1. Los análisis de muestras de lodos residuales (biosólidos) producidos en la planta tratadora de aguas residuales de Aguascalientes (México), correspondientes a varios periodos de tiempo entre 2004 y 2008, han permitido el que se hayan podido aplicar a los suelos de los agroecosistemas de alfalfa y maíz en este territorio ya que no sobrepasaron los niveles de metales pesados contemplados por la normativa mexicana.
2. Los grupos taxonómicos de artrópodos edáficos que mostraron mayor abundancia en los dos agroecosistemas con aplicación de 200 t/ha (peso húmedo), fueron colémbolos, ácaros, coleópteros, dípteros, hemípteros, heminópteros y arañas. La biodiversidad de esta fauna edáfica fue alta en los dos casos, siendo mayor en el agroecosistema de alfalfa
3. Las comunidades de artrópodos edáficos son mejor recogidas en los muestreos utilizando trampas pitfall que con el embudo de Berlesse-Tullgren
4. Los biosólidos, al mejorar la fertilidad del suelo, incrementan la abundancia de colémbolos y de ácaros especialmente. Pero con dosis elevadas de los mismos (800 t/ha en peso húmedo), solamente aumentan los ácaros, el resto de artrópodos edáficos disminuye.
5. La presencia de malezas (“malas hierbas de los cultivos”), y la aplicación de dosis de 400 t/ha de biosólidos a los suelos de los dos agroecosistemas, implican un aumento de la riqueza, abundancia y biodiversidad de los artrópodos edáficos en los mismos. Con esta dosis de biosólidos se consigue también un aumento de la productividad de la alfalfa en un 8% y del maíz en un 13 %, en comparación con las productividades obtenidas cuando se utiliza solamente el fertilizante químico inorgánico.
6. Son notorias las correlaciones entre los metales pesados de los suelos abonados con biosólidos y las abundancias de algunos grupos de artrópodos. La

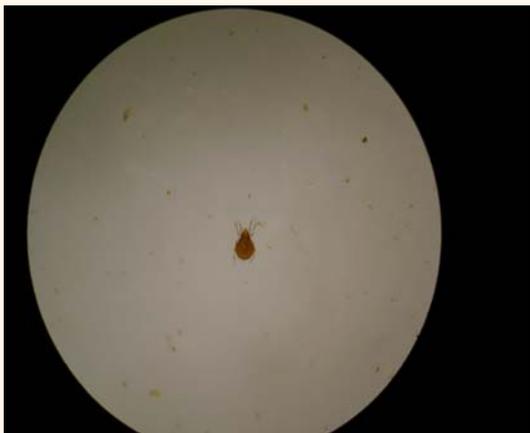
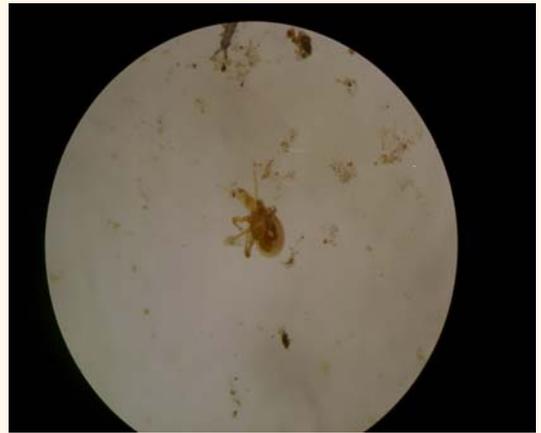
abundancia de colémbolos pueden ser indicadora del Cu y del Zn de la capa superficial edáfica, y su disminución puede deberse a un mayor nivel de Cd en la misma en los agroecosistemas de maíz. Ello implica que se hace necesaria la vigilancia constante de este grupo de artrópodos en los suelos con aplicación de biosólidos, aunque se utilicen dosis aceptables para la fertilidad de los cultivos.

7. Se contribuye al conocimiento ecológico de los colémbolos en ecosistemas forrajeros del altiplano mexicano adicionados con lodos residuales, tanto en su composición específica, como en los factores abióticos y bióticos involucrados en la dinámica de sus poblaciones, así como su implicación en los flujos del N y del P en estos sistemas.
8. Han sido identificados varios grupos funcionales en los agroecosistemas adicionados con biosólidos: (a) todos los grupos taxonómicos de artrópodos edáficos están implicados en la compleja red trófica del suelo, siendo los detritívoros/microherbívoros los más importantes; (b) un grupo funcional involucrado en la dinámica de los flujos del N y del P formado esencialmente por colémbolos, (c) un tercer grupo funcional formado por el conjunto de las poblaciones de microartópodos (colémbolos y ácaros), así como de coleópteros y hemípteros en relación al mejoramiento de la estructura de la capa superficial edáfica; (d) y los isópodos como acumuladores de metales pesados.
9. Se aportan datos cuantitativos relativos a la fauna de suelos agrícolas de México para que, en su momento, puedan utilizarse en estimaciones de la calidad de los mismos. Pero también, se contribuye a mostrar la importancia de este componente biológico de los suelos que no suele tenerse en cuenta en los estudios de aplicación de lodos residuales
10. De este estudio se derivan recomendaciones a los agricultores en relación a las dosis favorables de biosólidos a utilizar (no superiores a 300 t/ha peso húmedo), así como a las autoridades e investigadores, en cuanto al continuo monitoreo de metales pesados que se acumulan en los suelos por esta enmienda.

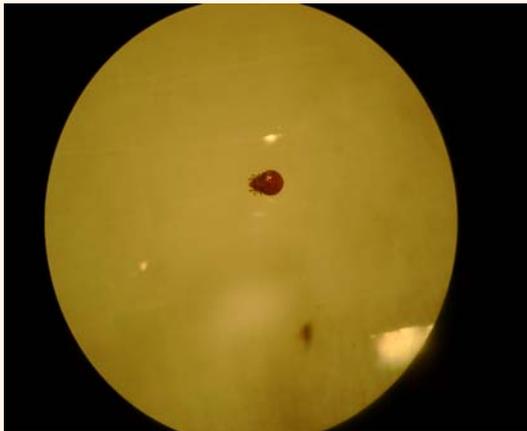
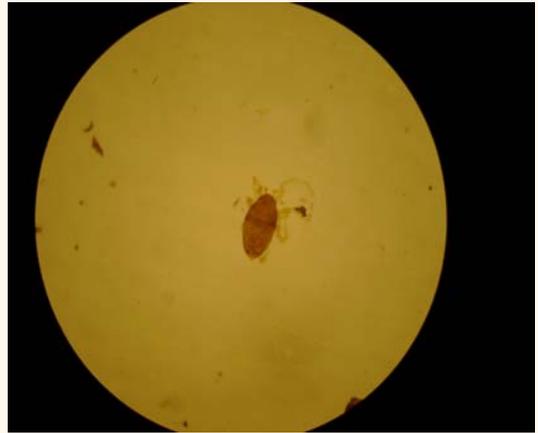
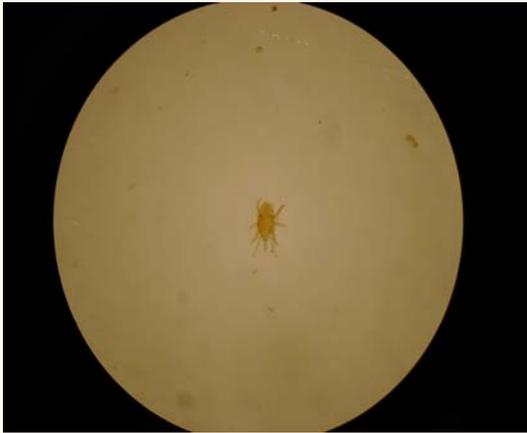
A N E X O

SÍNTESIS FOTOGRÁFICA DE ARTRÓPODOS EDÁFICOS EN
AGROECOSISTEMAS REPRESENTATIVOS DE
AGUASCALIENTES (MÉXICO)

ORDEN ACARINA



ORDEN ACARINA



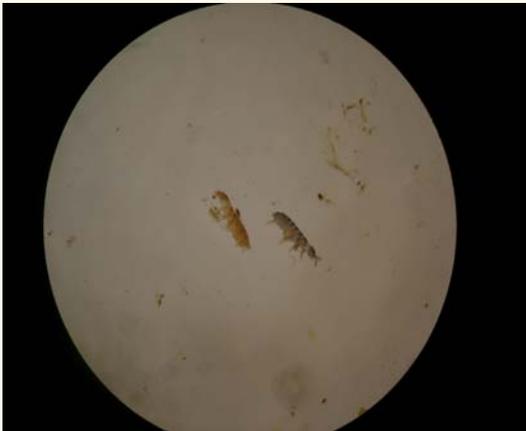
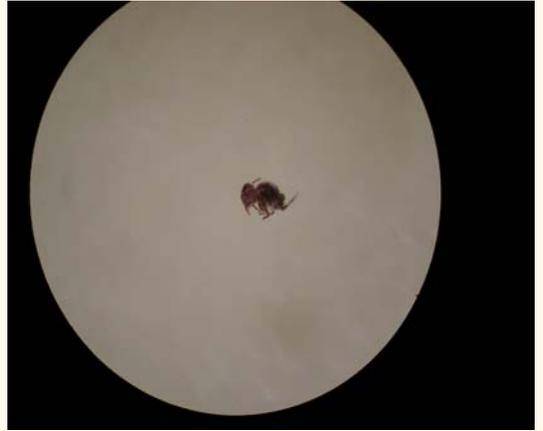
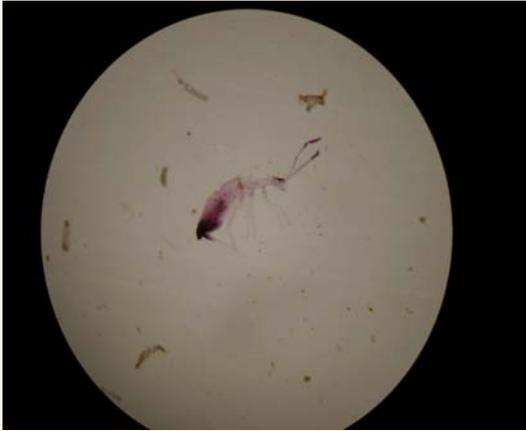
ORDEN ARANAE



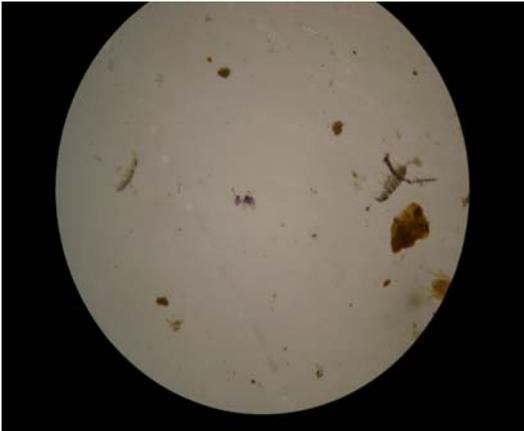
ORDEN ARANAE



ORDEN COLLEMBOLA



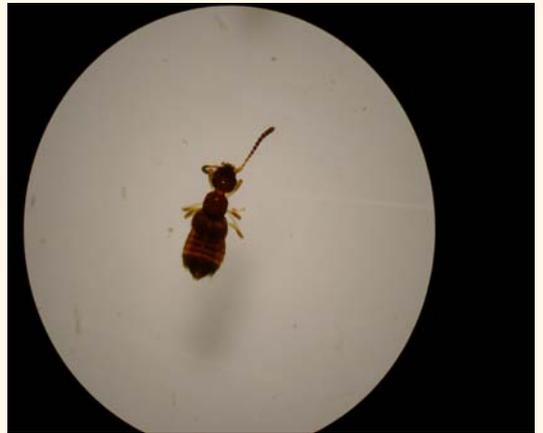
ORDEN COLLEMBOLA



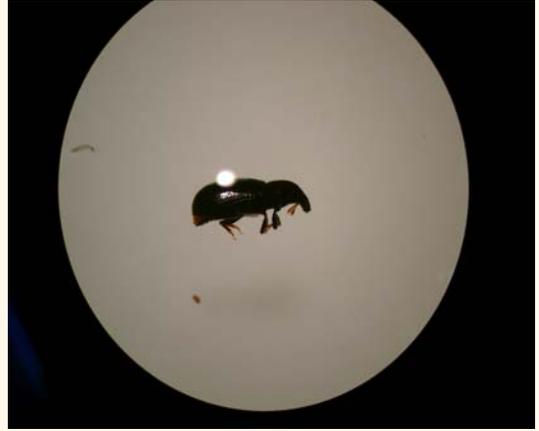
ORDEN COLEOPTERA



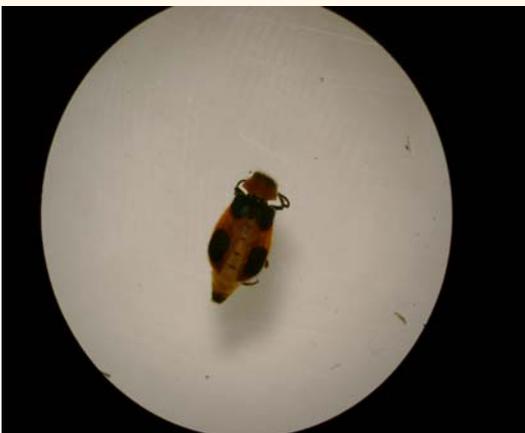
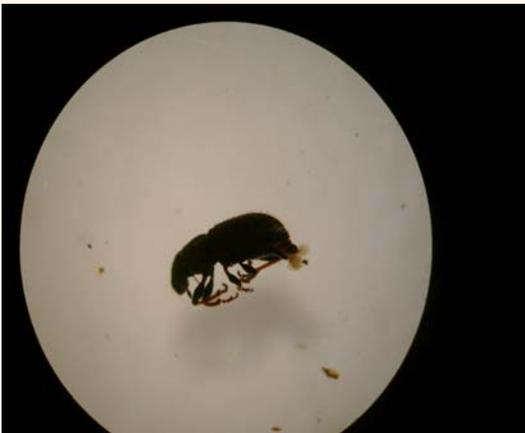
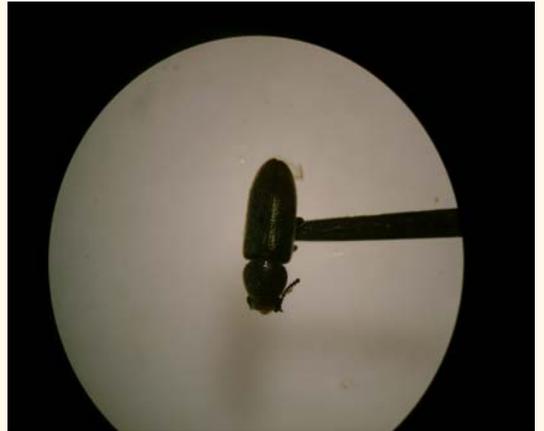
ORDEN COLEOPTERA



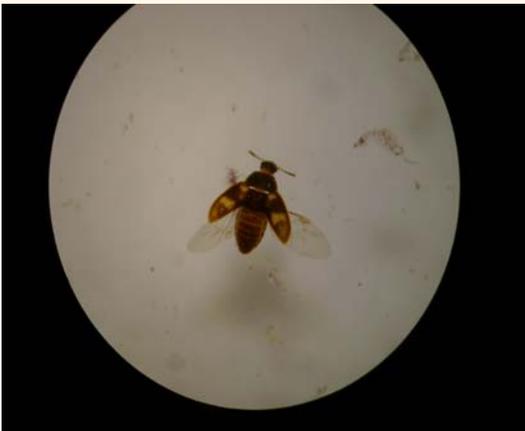
ORDEN COLEOPTERA



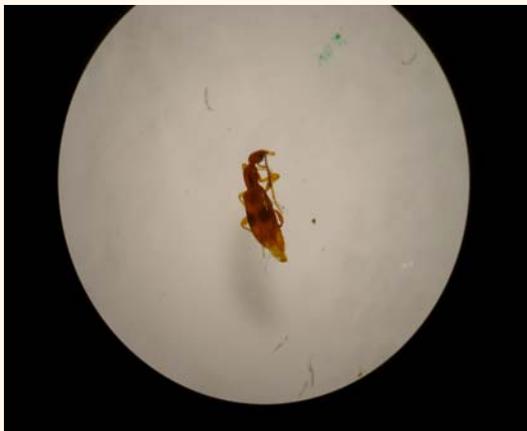
ORDEN COLEOPTERA



ORDEN COLEOPTERA



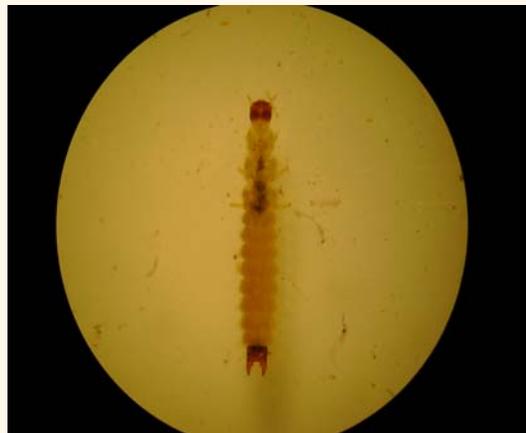
ORDEN COLEOPTERA



ORDEN COLEOPTERA



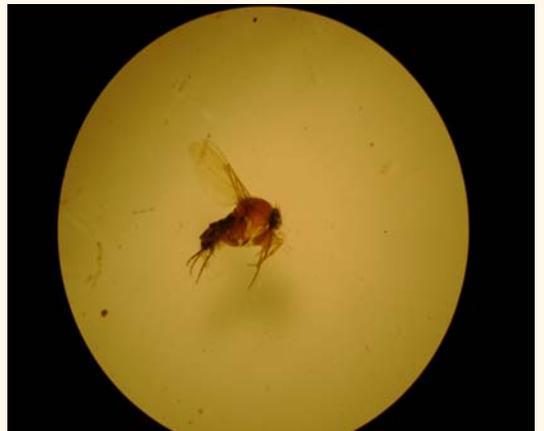
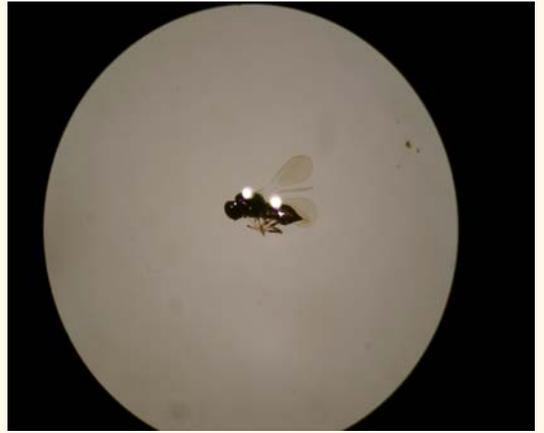
ORDEN COLEOPTERA (LARVAS)



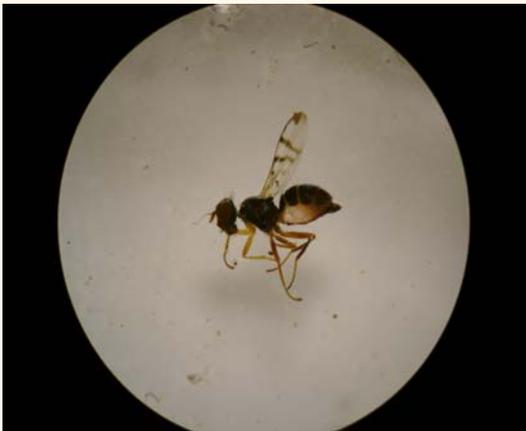
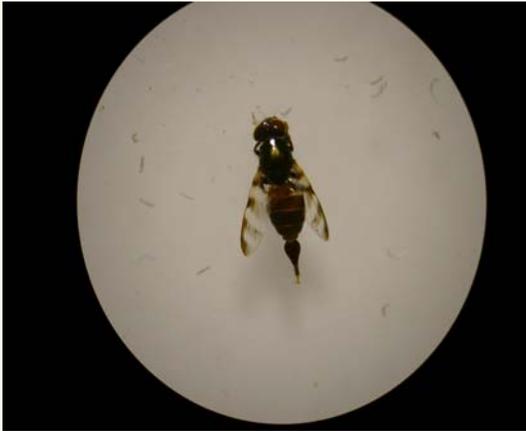
ORDEN COLEOPTERA



ORDEN DIPTERA



ORDEN DIPTERA



ORDEN DIPTERA



ORDEN HYMENOPTERA



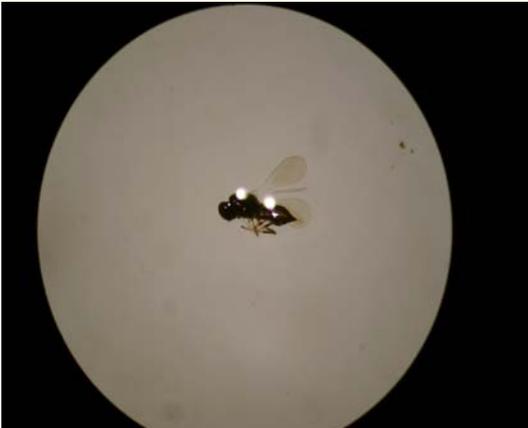
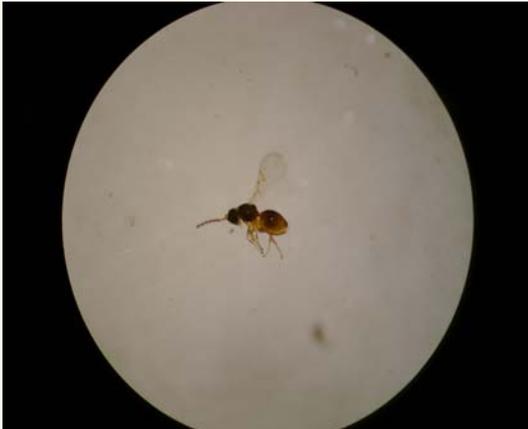
ORDEN ARANAE



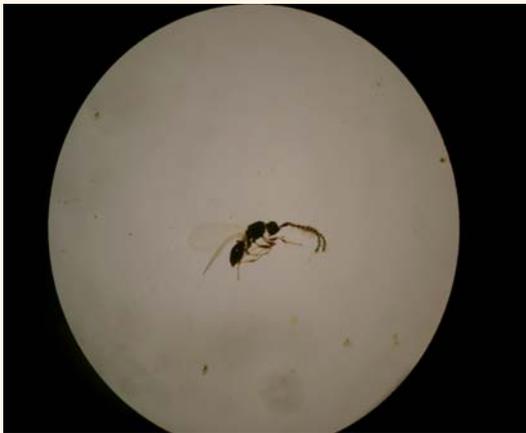
ORDEN HYMENOPTERA (AVISPAS)



ORDEN HYMENOPTERA (AVISPAS)



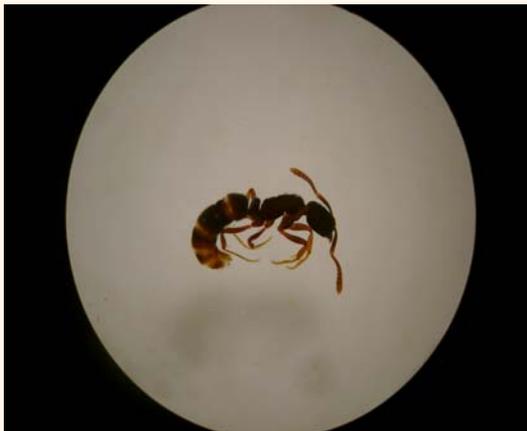
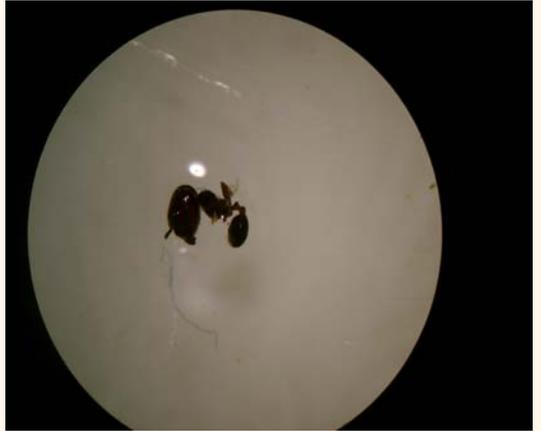
ORDEN HYMENOPTERA (AVISPAS)



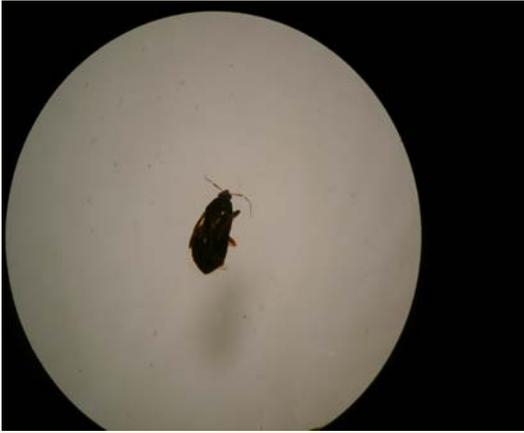
ORDEN HYMENOPTERA (HORMIGAS)



ORDEN HYMENOPTERA (HORMIGAS)



ORDEN HEMYPTERA



ORDEN HEMYPTERA



ORDEN HEMYPTERA



ORDEN DERMAPTERA



ORDEN ORTHOPTERA



ORDEN ARANAE



ORDEN OPILIONIDA



ORDEN HYMENOPTERA



ORDEN DERMAPTERA



ORDEN CHILOPODA



ORDEN ISOPODA

