

00377

9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS



FACULTAD DE CIENCIAS.



COLÉMBOLOS EDÁFICOS DE DOS AGROSISTEMAS DE  
SAN SALVADOR, HIDALGO.



TESIS



QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(SISTEMÁTICA)

P R E S E N T A

LEOPOLDO QUERUBÍN CUTZ POOL

DIRECTOR: JOSÉ G. PALACIOS VARGAS.

México, D.F.

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



COORDINACIÓN

Junio del 2003

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

OFICIO FCIE/DEP/0231/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ING. LEOPOLDO SILVA GUTIÉRREZ  
DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
P R E S E N T E.

A l' n: BIÓL. FRANCISCO J. INCERA UGALDE

Comunico a usted que el Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas ha asignado al(a) BIÓL. LEOPOLDO QUERUBÍN CUTZ POOL, el jurado para presentar Examen de Grado de MAESTRO(A) EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (SISTEMÁTICA):

PRESIDENTE	DR.	ALFONSO NERI GARCÍA ALDRETE
VOCAL	DRA.	NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERÓN
SECRETARIO	DR.	JOSÉ GUADALUPE PALACIOS VARGAS
SUPLENTE	DR.	JOAQUÍN BUENO SORIA
SUPLENTE	DRA.	ROSA GABRIELA CASTAÑO MENESES


El título de la tesis es:

"Colémbolos edáficos de dos agrosistemas de San Salvador, Hidalgo"

bajo la dirección del (a):

DR. JOSÉ GUADALUPE PALACIOS VARGAS

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, D. F., 4 de abril del 2003  
COORDINADORA

  
DRA. TILA MARÍA PÉREZ OBtiz

TMPOIASrgrf\*



B

## *DEDICATORIA*

### **A mis padres**

Juan B. Cutz P. y Lucía Pool Chi, por su gran corazón y por el amor que me han ofrecido sin reservas, por su apoyo constante e incondicional, por permitirme y dejar ser, por sus sabios consejos y dedicación hacia mí. Gracias por haber sido una gran inspiración en mi vida.

### **A mis suegros**

Luis Arturo y Albina quienes han estado conmigo en todo momento: Pensamientos, teléfono, motivándome, animándome y brindándome apoyo moral. Gracias por permitirme ser parte de la familia.

### **A mis hermanos**

José, Pedro, Santiago, Tito y Dulce, quienes han sido los mejores amigos y a pesar que nos hemos separado por cuestiones de superación académica siempre están presentes en mí. Gracias por ese apoyo moral de cada uno de ustedes.

### **A mis sobrinos**

Juan, Pedro, Gilberto, Angel, Roberto, Suriel, Christian, Deysi, Claudia, Iliana, Gabriela y Nabija quienes me motivan a seguir adelante cada día y a reanimarme cuando flaqueo ante los problemas cotidianos. Gracias por ser las fuentes de mi motivación día a día.

### **A María**

Mi esposa quien ha estado conmigo en todo momento contra viento y marea motivándome y animándome para seguir adelante y reanimarme cuando los problemas de cada día parecen terminar con mi ser. Gracias por ser la persona que amo y porque Dios nos ha dado la oportunidad de unirnos para siempre.



## RECONOCIMIENTOS

Al CONACyT por proporcionarme el apoyo de beca con el que pude continuar mis estudios de posgrado por los dos años que duró la obtención del 100% de los créditos de Maestría.

A la DGAPA por su apoyo al proyecto IN-201598 quien financió el trabajo de campo para la obtención del material Biológico y poder llevar a efecto el presente trabajo de investigación.

A la Facultad de Ciencias, UNAM por haberme apoyado económicamente para presentar los diversos trabajos derivados del proyecto de investigación de Maestría en el XXXVI Congreso Nacional de Entomología y XXVIII Congreso Nacional de Fitopatología, realizados en la ciudad de Querétaro, Qro. y en el XXXVII Congreso Nacional de Entomología realizado en la ciudad de Guanajuato, Gto.

A mis tutores: Dr. José Guadalupe Palacios Vargas, Dr. Joaquín Bueno Soria y Dra. Norma Eugenia García Calderón que estuvieron conmigo a lo largo de la realización de esta investigación, gracias por su apoyo y disposición.

A los revisores de la tesis y que forman parte del comité evaluador del examen de grado, Dr. Alfonso Neri García Aldrete y Dra. Rosa Gabriela Castaño Meneses, gracias por sus comentarios y sugerencias.

A la M. en C. Blanca E. Mejía Recamier, por sus enseñanzas y consejos en el laboratorio, por su opinión y comentarios para mejorar la tesis.

A mis compañeros de laboratorio: Biól. Ricardo Iglesias M., Daniel A. Estrada Bárcenas, Carmen Maldonado V., Arturo García Gómez quienes sufrieron juntamente las inclemencias del tiempo cada vez que se salió al campo y por los pequeños consejos y comentarios que llevaron a mejorar la tesis.

Al Señor Ricardo Trejo y a la familia Escamilla por permitirnos realizar el trabajo de campo en sus parcelas en El Bondho y San Salvador, respectivamente en el Estado de Hidalgo.

## RESUMEN

Este estudio se realizó en el municipio de San Salvador, Hidalgo (19° 40' y 20° 29' N, 99° 57' y 99° 27' W), con clima semiseco templado (Bs1k). Se eligieron dos parcelas de 50 x 20 m con la misma clasificación edáfica y diferente tipo de riego. La primera parcela se encuentra en San Salvador (SS) irrigada con aguas residuales y la segunda parcela se encuentra en el poblado de El Bondho (B) irrigada con agua de pozo. Se realizaron muestreos bimestrales durante un año, de diciembre - 98 a octubre - 99. Se tomaron 60 muestras al azar por parcela, las cuales se procesaron en el laboratorio en el embudo de Berlese-Tullgren; se cuantificaron y determinaron los colémbolos a nivel específico. Se calculó la abundancia relativa (%), el porcentaje de permanencia, índice de diversidad de Shannon-Winner (H'), e Índice de equitatividad (J'). Se calculó el índice de similitud de Sørensen y se correlacionó la fauna con las características físicas y químicas del suelo (materia orgánica, conductividad eléctrica, pH, cationes intercambiables y la porosidad).

Se obtuvieron 5,967 colémbolos que comprenden 10 familias, 20 géneros y 31 especies, de las cuales 19 son nuevos registros para el estado de Hidalgo. Del total, 4,833 ejemplares provienen de la parcela de San Salvador y 1,134 de la parcela de El Bondho. La parcela con mayor abundancia relativa fue San Salvador, misma que presentó la mayor riqueza específica, 29 contra 19 respectivamente. La familia Isotomidae presentó mayor abundancia relativa con respecto al total de las otras familias colectadas. Las especies dominantes e importantes por su abundancia y frecuencia fueron: *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus*, *Xenylla grisea* e *Hypogastrura essa* en la parcela de San Salvador. La diversidad y equitatividad fueron mayores en la parcela de El Bondho, a pesar de tener una riqueza específica más baja que la de San Salvador; tal comportamiento se debe a la presencia de cuatro especies dominantes (*Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus*, *Xenylla grisea*, e *Hypogastrura essa*). Por medio de el coeficiente de similitud se comprobó que existe una alteración en la composición de las comunidades de colémbolos al obtener un 70% de semejanza entre las dos parcelas estudiadas siendo menor al 90% que corresponde a los sistemas naturales. El pH mostró una diferencia entre ambas parcelas con valores mayores a la alcalinidad para El Bondho. La diferencia de conductividad eléctrica se debió a la acumulación de las sales existentes en la misma parcela, siendo notorio para los meses de diciembre, abril, y agosto. La concentración de cationes intercambiables mostró una clara diferenciación, presentando los mayores valores en El Bondho. La materia orgánica mostró una diferencia significativa en el mes de

E

diciembre en la parcela de San Salvador y para el resto de los meses se comportó de manera similar para ambas parcelas. De acuerdo con los resultados del análisis de varianza (ANOVA de dos vías) *Xenylla grisea*, *Folsomides parvulus*, *Cryptopygus ca. benhami* y *Pseudosinella octopunctata*, son las que mostraron diferencias estadísticas por el tipo de riego (localidad), mientras que *Mesaphorura yosiii*, *Lepidocyrtus violaceus*, *Pseudosinella violenta*, *Sphaeridia serrata*, *Megalothorax incertus* y *M. minimus* lo hacen por fecha de muestreo. Al interactuar tanto el tipo de riego como la fecha de muestreo se observó una clara diferencia significativa en el comportamiento de las poblaciones de *Hypogastrura essa*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus*, *Isotomurus bimus*, *Lepidocyrtus pallidus* y *Sminthurinus atrapallidus*.

La composición estructural de las comunidades de colémbolos, riqueza específica, equitatividad, dominancia, densidad y abundancia relativa fueron diferentes entre parcelas. Estas diferencias fueron dadas principalmente por los altos valores de pH, conductividad eléctrica y de los cationes intercambiables presentes en una y otra parcela, determinando el tipo de comportamiento de las comunidades estudiadas, así como cierto efecto negativo por la intensidad de uso de suelo (sin embargo, ésto no ocurre con la porosidad y la materia orgánica presente en dicho estudio). Se comprobaron las diferencias en las composiciones específicas de colémbolos entre las parcelas con diferente tipo de riego, y la presencia de especies como *Hypogastrura essa*, *Xenylla grisea*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus ca. benhami* y *C. thermophylus* sugiere que pueden ser sensibles al aumento de los parámetros evaluados. Por consiguiente, para determinar la utilidad de estas especies se necesita un análisis más profundo de los patrones de abundancia que presenta la comunidad en las distintas parcelas. Se propone la existencia de un gran potencial para el uso de colémbolos como indicadores de la calidad del suelo, con miras a establecer estrategias de manejo y sustentabilidad del recurso suelo.

F

## ABSTRACT

This study was done in San Salvador and El Bondho, Hidalgo State, México (19° 40' and 20° 29' N, 99° 57' and 99° 27' W respectively), in a semi-arid temperate (Bsk) region. Two plots of 50 x 20 m were chosen, with the same edaphic classification (Calcaric phaeozem), but different kind of irrigation: "wastewater" from canals and freshwater from a well, respectively. Sampling was done by soil cores of 10 X 10 X 5 cm every two months, from December 1998 to October 1999. Ten random samples from each plot were taken each time, and they were extracted by the Berlese-Tullgren funnels. A total of 120 samples of soil were obtained, from which the Collembola specimens were isolated, quantified, mounted and identified to species level. Relative abundance, permanence percentage, Shannon-Winner (H') diversity index and evenness (J') were calculated. Sørensen similarity index was obtained and these results were correlated by ANOVA to the physical and chemical properties of the soil.

A total of 5,967 Collembola specimens from 31 species were obtained, from which 19 are new records for Hidalgo State. 4,833 specimens were from San Salvador and 1,134 from El Bondho. In these plots the species richness was 29 and 19, respectively. Important dominant species due to their abundance and frequency were: *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophilus*, *Xenylla grisea* and *Hypogastrura essa* at San Salvador. At El Bondho the Diversity and evenness were higher than at San Salvador. However, its specific richness was lower than in San Salvador; mainly due to the presence of four dominant species (*Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophilus*, *Xenylla grisea*, and *Hypogastrura essa*). The similarity coefficient shows a disturbance in the composition of the Collembola communities, with only 70% of similarity among both plots, which is less than 90% commonly found in the natural systems. The ANOVA two way analysis of

G



variance, shows that the abundance of *Xenylla grisea*, *Folsomides parvulus*, *Cryptopygus ca. benhami* and *Pseudosinella octopunctata* were statistically significant different by the type of irrigation, while *Mesaphorura yosiii*, *Lepidocyrtus violaceus*, *Pseudosinella violenta*, *Sphaeridia serrata*, *Megalothorax incertus* and *M. minimus* show that differences by sampling date. When irrigation and date are taken into account, it is observed a clear difference in the dynamics of the populations of *Hypogastrura essa*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus*, *Isotomurus bimus*, *Lepidocyrtus pallidus* and *Sminthurinus atrapallidus*.

The community structure of springtails composition, richness, evenness, dominance, density and relative abundance were different between both plots. These differences were given mainly by the high values of pH, electrical conductivity and the present interchangeable cations in one and another plots, determining the type of behavior of the studied communities, as well as certain negative effect by the intensity of soil use (nevertheless, it does not happens with the porosity and the organic matter present in this study). The differences in the specific compositions of springtails between the two plots with different type of irrigation were verified. The presence of species like *Hypogastrura essa*, *Xenylla grisea*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus ca. benhami* and *C. thermophylus* suggests that they era sensible to the increase of the evaluated parameters. Therefore, to establish the utility of these species, a deeper analysis of the abundance patterns that display the community in the different plots is needed. There is a great potential springtails for their use for indicating the quality of the soil, for establishing strategies of use and sustentability of the resource ground.

**TESIS  
CON  
FALLA DE  
ORIGEN**

## Indice

Introducción	1
Objetivos	3
Hipótesis	3
Zona de estudio	4
Características morfológicas de Collembola	9
Clasificación ecológica	12
Importancia y presencia de los colémbolos en el ecosistema edáfico	13
Método	17
Resultados	22
Composición de la fauna de colémbolos	22
Abundancia absoluta y relativa de los colémbolos	22
Porcentaje de permanencia	28
Índice de diversidad ( $H'$ ), Equitatividad ( $J'$ ) y Dominancia ( $\lambda$ )	29
Coeficiente de Similitud de Sørensen	30
Índices de diversidad y Equitatividad por fechas de colecta	31
Análisis edafológicos	34
Análisis de las especies de colémbolos	39
Discusión	42
Conclusiones	58
Bibliografía	61
Apéndice I. Cuadros de resultados de ANOVA y Correlaciones.	77

F

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un ambiente natural no renovable, tridimensional, dinámico en el espacio y en el tiempo (Siebe *et al.* 1997), en él están presentes diversos organismos microscópicos y macroscópicos, que forman comunidades organizadas con una función y una estructura específica (Dindal 1990).

Los microartrópodos forman una parte esencial de las comunidades edáficas, ya que actúan como descomponedores de la materia orgánica vegetal, participan en la integración y reciclaje de los nutrientes del suelo y son componentes importantes en las redes tróficas (Santos & Whitford 1981). Así mismo, estimulan la actividad de los microorganismos (hongos y bacterias), de tal manera que aceleran los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica (Butcher *et al.* 1971). Estos microartrópodos están representados principalmente por ácaros y colémbolos que, de acuerdo con Bachelier (1978) y Palacios-Vargas (1983), constituyen la mayor parte de la mesofauna del suelo, misma que puede alterarse por actividades antropogénicas como la transformación de ecosistemas naturales en agroecosistemas (Andrén & Lagerlöf 1983).

Por lo tanto, la ausencia de microartrópodos como los colémbolos en un suelo determinado, puede reducir la velocidad de descomposición de la materia orgánica y favorecer la pérdida de nutrimentos por lixiviación, ya que estos organismos pueden actuar como almacén de los nutrimentos (Cancela da Fonseca 1980).

Un suelo cultivado en promedio contiene aproximadamente 45% de minerales, 5% de materia orgánica, 15 a 35% de agua y el resto (15% a 35%) está ocupado por aire. Numerosos procesos físicos, químicos y biológicos actúan simultáneamente para mejorar o empobrecer las condiciones del suelo y las funciones que éste desempeña en beneficio de las plantas que crecen en él. Las condiciones físicas están estrechamente relacionadas con su fertilidad; los suelos más

fértiles contienen cantidades significativas de materia orgánica y de arcilla, factores que influyen fuertemente sobre la capacidad de retención de humedad y sobre la capacidad de intercambio catiónico (Narro 1994).

Cada tipo de suelo, puede ofrecer las condiciones necesarias y suficientes para la delimitación y mantenimiento de un biotopo especial con sus animales propios. Estudios sobre zoología del suelo han comprobado que existen distintas interacciones entre los suelos y sus faunas. Dichas relaciones se establecen con el tipo de suelo, su composición mecánica, situación geográfica, vegetación, humedad, pH, cantidad de materia orgánica, actividad bacteriana, fertilidad y temperatura, además del laboreo, uso de fertilizantes, insecticidas y fuego, que determinan cambios en la composición y densidad de las faunas edáficas; a la inversa, es también posible sacar conclusiones sobre las características del suelo a partir de las especies o conjunto de especies indicadoras, principalmente colémbolos y ácaros (Rapoport 1968; Rapoport & Najt 1966).

El presente proyecto se basa en los conocimientos actuales de los factores del ambiente que registran la composición específica de las poblaciones de los colémbolos (Ponge *et al.* 1993; Ponge & Charpentié 1981; Ponge & Prat 1982; Ponge 1983, 1991, 1993), en la taxonomía y la biología de los hexápodos (Thibaud 1968a, 1968b, 1975, 1986, 1991, 1994; Thibaud & Vannier 1986; Thibaud & Najt 1993), y en el conocimiento de la fauna edáfica de México (Palacios-Vargas 1981; 1983; 1990; 1994a y b, 1997; Palacios-Vargas & Castillo 1992). Así también como de los conocimientos de lo que se ha estudiado con respecto a los parámetros edáficos tales como el nivel de acidez del suelo y el grado de disociación de las moléculas orgánicas (Hopkin 1990, 1993).

## **Objetivo General**

Realizar el inventario taxonómico de la fauna colembológica y comparar las comunidades de Collembola en dos parcelas agrícolas del estado de Hidalgo.

## **Objetivos Particulares**

1. - Estudiar la variación temporal en la estructura de las comunidades de los colémbolos edáficos
2. - Correlacionar la fauna colembológica con las características físico-químicas del suelo (materia orgánica, conductividad eléctrica, cationes intercambiables, pH y la porosidad). Inferir el posible comportamiento que tienen éstos en la comunidad de colémbolos.

## **Hipótesis**

Debido a la diferencia de irrigación se espera una variación en la composición de las comunidades de colémbolos y ésta se debe reflejar en las altas densidades en la parcela de El Bondho, además de una alta riqueza específica, contraria a lo que se espera encontrar en la parcela de San Salvador por la alteración causada por el tipo de riego.

## **Zona de estudio**

### **Ubicación geográfica**

El presente trabajo se realizó en el municipio de San Salvador, que es parte del Valle del Mezquital, Hidalgo. El Municipio de San Salvador se encuentra entre los paralelos 19°40' y 20°29' de latitud norte y longitud oeste entre 99°57' y 99°27', su altitud media es de 1,985 msnm (DDR 063 1996).

### **Geología**

El valle del Mezquital se localiza dentro de la provincia fisiográfica denominada faja Volcánica Mexicana; está rodeado por sierras de tipo volcánico donde las rocas que afloran corresponden a rocas sedimentarias de origen marino y continental, así como de tipo volcánico de diversa composición química. Las rocas presentes en la zona de estudio son del Cretácico Inferior al Cuaternario/Holoceno (CNA 1995).

El tipo de rocas que se encuentran en el área del Municipio de San Salvador y los alrededores del Valle del Mezquital son rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Entre las ígneas se encuentran las andesitas, dacitas, riolitas, andesitas basálticas, basaltos y diabasas. De las sedimentarias están las hidroclásticas, pizarras arcillosas, pizarras calizas, calizas, margas, conglomerados, brechas, arenas y aluviones; areniscas y arcillas; piroclásticas, tobas andesíticas, riolíticas y basálticas, brechas, arenas y cenizas basálticas. Entre las metamórficas solamente se encuentra el mármol.

## **Orografía**

El municipio de San Salvador en su totalidad es llanura; se encuentra comprendido dentro del Valle del Mezquital; el cual es parte transicional del Altiplano Mexicano que forma parte del Eje Neovolcánico que cruza el país en dirección general este-oeste. En una cuenca de origen lacustre que ocupa depresiones formadas entre el relieve de la llamada Mesa Central. Está caracterizado por extensas llanuras y valles con elevaciones medias de 2,000 msnm, de las que sobresalen numerosas montañas, en su mayor parte de origen volcánico (SARH 1973-76, citado por Zamora 1988).

Por los lados norte y noroeste el Mezquital está limitado por los cerros Juárez, La Muñeca, Picacho y Santuario; hacia el noreste y el este por la Sierra Madre Oriental que principia por el Cerro de Cuxmaye y diversas elevaciones entre las que destaca el cerro Huadre; hacia el sudeste y el sur se prolonga con la serranía de Actopan, limitándolo los pueblos de Tlapacoya, Tlaxinca y la Sierra del Mexe, al oeste se encuentran las estivaciones del Cerro Juárez, al sur se prolonga la serranía con cerros como el de San Juanico, por donde se abre el río Tula. La zona tiene algunos relieves de importancia como el macizo montañoso de San Miguel de la Cal (Morales 1982).

Pueden distinguirse fundamentalmente tres valles; el de Apexco, el de la planicie de Tula-Actopan (en donde se encuentra San Salvador), que es el más extenso y ocupa la parte principal del DDR-063; y el de Chiconautla, Tecotlapilco e Ixmiquilpan (Cubillas 1980, citado por Zamora 1988).



## Hidrología

El acueducto denominado sistema Valle del Mezquital se origina de los manantiales de Cerro Colorado y Tezontepec que abastece parcialmente al Municipio de San Salvador, actualmente se complementa con pozos profundos, ya que es insuficiente la captación de los manantiales (CNA 1995).

La región recibe los escurrimientos más importantes del río Tula y Valle de México. En el cauce natural del Río Tula se construyó la presa Endhó para así utilizar el agua con fines agrícolas. El Río Tula nace de las infiltraciones de la presa Requena, que a su vez almacena agua de escurrimiento de la presa Taxhimay, provenientes del río Tepeji, del Emisor Central y del río El Salto, que aportan caudales medios anuales de 498.3 millones de m<sup>3</sup>. Las infiltraciones de la presa Taxhimay desvian su curso hacia el este, para continuar su recorrido hasta unirse con el Río San Juan del Río y constituir así el Río Moctezuma, tributario del Pánuco, que finalmente descarga en el Golfo de México (Zamora 1988).

Existen también manantiales que riegan las zonas del valle del Mezquital, los de mayor importancia son los de Baño Grande, pero el único que se halla en San Salvador, se encuentra seco a una altitud de 1,948 m con una profundidad total de 35 m con una distancia de 6.8 Km y rumbo de N76°W. En general, las aguas de los manantiales de algunas zonas son aparentemente de buena calidad, excepto las aguas de pozo de Ixmiquilpan, Actopan y Tula que son sospechosas, en cuanto a su contenido en bacterias, habiendo numerosos casos donde es evidente la contaminación.

## Clima

El municipio de San Salvador presenta un clima semiseco templado (BS1k). La temperatura media anual es de 14.8°C, la máxima que ocurre en mayo es de 17.3°C y la mínima en noviembre con 9.4°C, la precipitación total anual es de 543.4 mm, con máxima incidencia en septiembre (117.4 mm) y mínima en enero con 8.8 mm. Las heladas se presentan básicamente en los ciclos de invierno (DDR 063 1996).

## Suelos

Los suelos que se encuentran en las formaciones sedimentarias del relleno de las cuencas, son de carácter residual, se han formado *in situ* por la alteración del material subyacente del que proceden; sin embargo gran parte de los suelos planos del Valle son de origen aluvial.

Los materiales del suelo de la zona de San Salvador presentan un sistema complejo de sales, en general un predominio de calcio y poca cantidad de sulfatos. El caliche constituye un horizonte de acumulación de sales dentro el suelo. Los suelos de la región son relativamente jóvenes y el caliche constituye un saxeum no madura o suave, que en general entorpece el crecimiento de las raíces, pero como es poroso, no obstaculiza el paso del agua. No obstante, la parte llana del municipio se encuentran suelos con la capa petrocálcica demasiado profunda, por lo que no constituye un problema como tal.

En el área de San Salvador, existen tendencias marcadas de retención de las sales solubles, por lo mismo que se tiene una influencia importante sobre las posibilidades agrícolas de los suelos. Las sales provocan una mala condición física y química en los suelos, pero los carbonatos propician transformaciones complejas más que los cloruros y, éstos a su vez, más que los sulfatos, tendiendo a la disminución de la permeabilidad del suelo (INEGI 1992).

Los suelos de esta región sustentan un mosaico edáfico más o menos homogéneo, donde la llanura es profunda (50 cm - 1 m), con fases dúricas y petrocálcicas. El suelo en la mayor parte de esta provincia es de color negro o pardo oscuro, con una capa superior no tan rica de materia orgánica y nutrimentos, a este tipo de suelos se le llama Feozem háplico; y a los que contienen cal en todos sus horizontes son llamados Feozem calcáricos (Siebe *et al.* 1997). En las áreas llanas del municipio de Actopan, cerca de San Salvador, existen amplias zonas de terrenos planos con piso rocoso asociado a los lomeríos y es ahí donde se localizan los suelos pocos profundos. En estos suelos existen una gran aportación de carbonatos provenientes de las sierras calizas y caliza-lutita, provenientes del período Cretácico Superior e Inferior que los rodea, tal aportación los hace pertenecer a los llamados suelos calcáreos, que se asocian con Rendzinas y Regosoles (Contreras 1998).

La mayoría de los suelos en el Valle del Mezquital, de manera virgen, son de naturaleza calcárea con contenidos medios de sales, poca profundidad y baja productividad. Sin embargo, la incorporación del riego con aguas residuales ha cambiado sus propiedades, por lo que ahora presentan texturas arcillosas y arcillo-limosas, así como la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es diferente, de  $20 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  a pasado a  $40 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ , en un periodo de 4 a 80 años en los suelos regados con aguas residuales, ésto por el alto contenido de arcilla (INEGI 1992).

En el área de San Salvador se tiene una amplia zona afectada por sales y/o sodio. Estos suelos se localizan en las partes bajas e inundables debido al mal drenaje superficial que presentan, y están sujetas a un efecto de artesianismo por exceso de aguas procedentes de los riegos abundantes de las partes altas. La superficie afectada por sales y/o sodio es de aproximadamente 1,452 Ha, que corresponde la mayor parte a las series de las áreas de Lagunillas y Actopan (SARH 1993).

### **Características morfológicas (Collembola)**

La caracterización morfológica de los colémbolos, según Thibaud (1991), establece que son hexápodos entognatos de tamaño pequeño con cabeza y 9 segmentos postcefálicos. La cabeza lleva un par de antenas con cuatro artejos, a veces subarticulados (Fig. 1a-c). El cuarto artejo (Ant. IV) porta las sensilas, y el tercero (Ant. III), el órgano sensorial típico de los colémbolos (Fig. 1c); pueden presentar hasta 8 corneolas a cada lado de la cabeza (Fig. 1a-c), pero en ocasiones este número se reduce y bien pueden desaparecer en algunos colémbolos; en la base de la antena puede encontrarse un órgano postantenal (OPA) de forma variable (Fig. 1a) según los distintos grupos, que bien pudiera tener una función olfatoria (Hopkin 1997); las piezas bucales pueden contar con mandíbulas, algunas con superficies masticadoras como las placas molares o con estructuras perforadoras-chupadoras.

El tórax posee 3 segmentos, cada uno de ellos lleva un par de patas con dos precoxas, una coxa, trocánter, fémur y tibiotalar con unguis (uña terminal) y un apéndice empodial (Fig. 1b-c).

El abdomen comprende 6 segmentos, algunos de ellos con apéndices (Fig. 1a-c). El Ab. I presenta el tubo ventral o colóforo (Fig. 1a-c), cuya importancia está en el mantenimiento del equilibrio hídrico y electrolítico del organismo, en el Ab. III se encuentra el tenáculo o retináculo (Fig. 1b) y en el Ab. IV se encuentra la fúrcula (Fig. 1b-c) relacionada con el salto y compuesta a su vez por el manubrio, el dente y el mucrón (Fig. 1b-c). Tanto el tenáculo donde se sostiene la fúrcula, como ésta última pueden estar ausentes en varias familias.

El orificio genital está en el Ab. V en ambos sexos (Fig. 1a), y en el último segmento se halla el orificio anal. En algunos grupos (Symphypleona y Neelipleona), como consecuencia de la fusión de los últimos segmentos abdominales, se aprecian menos de seis segmentos (Fig. 1c).

La forma del cuerpo (Fig. 1a-c) y la pigmentación varía en los diferentes grupos, ésta última puede incluso variar en dependencia del ambiente donde se encuentre el organismo (Palacios-Vargas *et al.* 2000), también pueden presentar ornamentaciones tegumentarias o granulaciones epicuticulares. El cuerpo en algunos grupos puede estar cubierto de escamas que son sedas modificadas (Christiansen 1992).

La quetotaxia es un aspecto característico con gran valor en la determinación de las especies y en el estudio de las líneas filogenéticas.

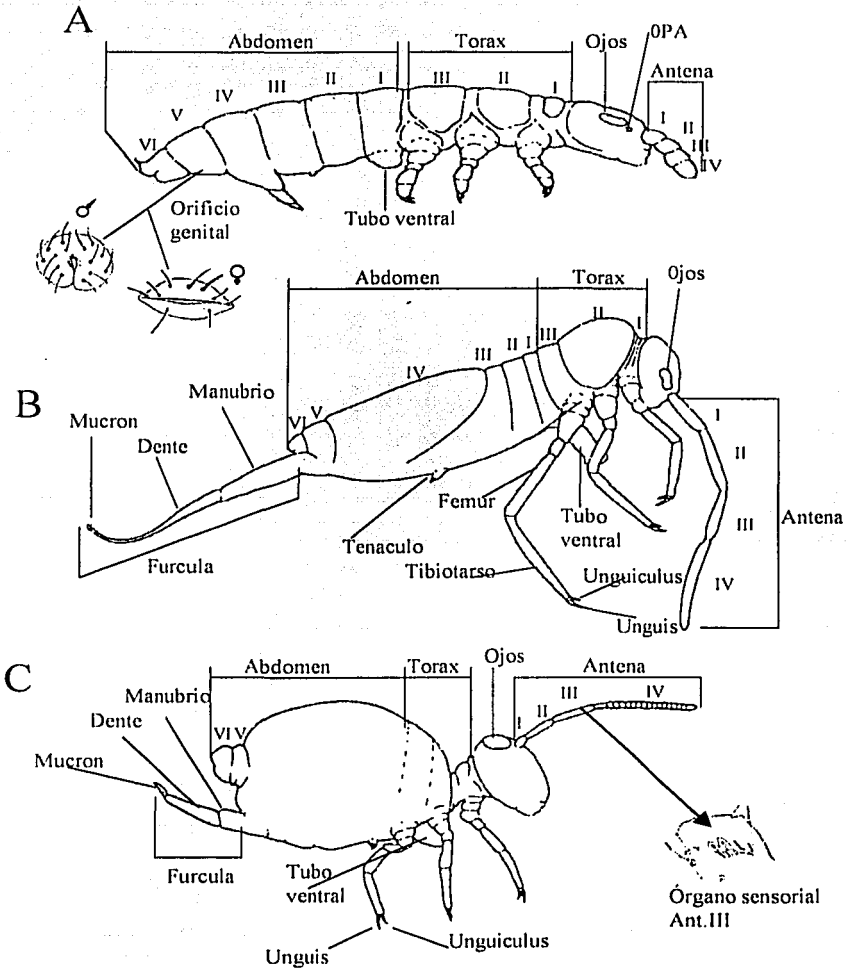


Figura 1. Morfología de los 3 tipos básicos en colémbolos. A. Poduomorpha (Hypogastruridae). B. Entomobryomorpha (Entomobryidae). C. Symphyleona (Sminthuridae)

## **Clasificación ecológica**

En las clasificaciones que se hacen de la fauna del suelo en función del tamaño (aspecto que influye en su ecología y función en el subsistema suelo), los colémbolos se incluyen dentro de la mesofauna, ya que sus dimensiones oscilan entre valores menores de 1 hasta 10 mm (Kladivko 2001). Son varios los sistemas creados para clasificar ecológicamente a los colémbolos. Gisin (1943) utiliza los términos atmobios, hemiedafon y euedafon. Los atmobios son aquellos con antenas largas y ocho corneolas a cada lado de la cabeza; hemiedáficos con antenas moderadamente largas y pigmentos bien desarrollados y euedáficas con las corneolas reducidas o sin ellas, sin pigmento o restringidos a las manchas oculares. Los del hemiedafon los subdivide en hidrófilos, con el mucrón laminar y que viven en la superficie del agua, mesófilos habitantes de la superficie del suelo y con pocos pelos tibiotarsales (tenent hairs), y xerófilos que viven en musgos, líquenes y en corteza de los árboles, los cuales poseen numerosos pelos tibiotarsales. Las especies cavernícolas las considera como miembros del euedafon, pero debido a la gran especialización que evidencian a este hábitat, los cataloga como troglomorfas.

Christiansen (1964) modifica ligeramente la terminología de esta clasificación y añade los términos troglomorfos y sinecomorfos (organismos con ojos y pigmento ausente piezas bucales modificadas; fúrcula y patas bien desarrolladas, escamas y sedas raras). Cassagnau (1961) propone dos categorías principales: atmobios y edáficos en relación de la presencia del organismo en la superficie del suelo, sobre plantas, en cavidades subterráneas o en la superficie del agua, o en las diversas capas de este subsistema, respectivamente. Palacios-Vargas (2002) elaboró un cuadro sobre la clasificación ecológica con ciertos caracteres y ejemplos de los colémbolos de acuerdo a su hábitat (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación ecológica de los colémbolos tomado de Palacios-Vargas (2002)

Categoría / Características							Ambientes v. gr
	Ojos	Pigm.	Anten.	Patas	Fúrcula	Faneras	Hábitat / v. gr
Epidáficas	8	+	L	L	L	L	Dosel <i>Salina</i> (Paronellidae)
Hemiedáfica							
Normal	8	+	C	C	C	-	Hojarasca <i>Ceratophysella</i> (Hypogastruridae)
Xeromorfa	8-	+-	C	C	C	-	Musgos, líquenes <i>Friesea</i> (Neanuridae)
Epineústicas	8-	+-	C-L	C	C	-	Superficie del agua <i>Ballistura</i> (Isotomidae)
Litorales	8-	+-	C	C	C	+	<i>Isotogastrura</i> (Isotogastruridae)
Eudáficas	0	-	C	C	C-red	-	Suelo y cuevas <i>Mesaphorura</i> (Onychiuridae)
Sinocomorfas	0	-	L	L	L	+	Hormigueros y termiteros <i>Cyphoderus</i> (Cyphoderidae)
Trogloformas	0	-	L	L	L	+	Cuevas y grutas <i>Arrhopalites</i> (Arrhopalitidae)

L= larga, C= Corta, C-red= Corta reducida.

### Importancia y presencia de los colémbolos en el ecosistema edáfico

Los colémbolos en el suelo ocupan numéricamente el segundo lugar después de los ácaros, pero en determinados suelos y circunstancias pueden ser mucho más numerosos que éstos (Najt, 1976). Se han cuantificado valores de densidades poblacionales de más de  $10^3$  m<sup>-2</sup> en bosque de pinos en la India (Reddy & Alfred 1989).

Constituyen, tanto en número como en biomasa, uno de los principales componentes de las taxocenosis edáficas, por lo que el estudio de estos organismos es importante para el conocimiento correcto del suelo cuando éste se utiliza como recurso (Pozo 1986). Andrén & Schnürer (1985) han demostrado que *Folsomia fimetaria* influye en la velocidad de descomposición y biomasa microbiana en la paja de cebada, en las etapas iniciales de la descomposición. Petersen (1994)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



resalta que en las primeras etapas de la sucesión, los colémbolos contribuyen con un 33 % del valor total de respiración de la fauna edáfica.

De acuerdo a Christiansen (1992), estos animales tienen un papel decisivo en el reciclaje de restos orgánicos en el suelo, y su papel más importante es el de mantener las concentraciones de hongos y nemátodos, favorables para el crecimiento de las plantas. Muchos suelos contienen millones de heces fecales de colémbolos, lo que beneficia a las raíces por la liberación continua de nutrientes en la medida en que dichas heces son desintegradas por los microorganismos (Hopkin 1997).

Se han registrado colémbolos en todos los continentes, incluyendo la Antártica (Christiansen 1992). La localización más meridional que se conoce de un invertebrado ha sido para colémbolos colectado en la Isla Británica Signy en una estación de investigación a 60°43'S, 45°36'W (Block *et al.* 1978).

El ambiente acuático también es frecuentado por los colémbolos por ejemplo; *Sinella curviseta* es común en aguas de zanjas de desagüe y su contribución puede ser importante en la descomposición de la materia orgánica (Nakamura *et al.* 1992). Muchas especies viven en medios dulceacuicolas donde forman parte del epineuston (Rapoport & Sanchez 1963), en plantas epífitas, en todas las altitudes y latitudes, en climas muy variados: ártico, antártico, tropical y templado (Palacios-Vargas 1979, 1983), en litorales marinos (Christiansen & Bellinger 1988).

De acuerdo con Jordana & Arbea (1989), están distribuidos en todo tipo de ambiente: edáfico, cavernícola, cortícola, muscicola y acuático; asociados a hongos (Palacios-Vargas & Gómez-Anaya 1991, 1994). Christiansen (1992) menciona que se han registrado especies colectadas a más de 6,000 m en el Monte Everest, así como especies que viven primariamente en respiraderos volcánicos con temperatura constante entre 32 y 54°C. Thibaud (1993) los colectó en

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

arena de playas. Palacios-Vargas (1994a) señala que estos microartrópodos se encuentran desde el nivel del mar hasta las grandes altitudes y bajo los hielos perpetuos. Son varios los autores con registros en cuevas, entre ellos Palacios-Vargas & Zeppelini (1995) y Christiansen & Bellinger (1996).

En cuanto a su alimentación, la mayoría lo hacen de todo tipo de material vegetal muerto en diversos grados de descomposición, pero también existen micófagas, polívoras y bacteriófagas, entre otros. En general puede decirse que son polífagos, al alimentarse de detritus orgánico, parénquima foliar, madera en descomposición, excremento, cadáveres, polen, esporas, micelios y bacterias, por lo que tienen gran importancia en los procesos de biodegradación (Fjellberg 1985; Mateos 1991). Puede que su participación en estos procesos también esté favorecida por la longevidad de algunos de estos insectos, la que según Thibaud (1991) oscila entre 3 meses y 3 años, o porque algunas especies completan su ciclo en sólo un mes.

Los colémbolos también pueden aminorar el efecto de patógenos en plantas al consumir hongos patógenos, por ejemplo el consumo de *Fusarium oxysporum* (hongo del pepino) por *Sinella curviseta*, disminuye la infestación y permite el desarrollo de plantas sanas (Nakamura *et al.* 1992).

Se consideran también indicadores de diferentes variables del medio edáfico. De tal modo que diversas especies de colémbolos se hallan restringidas a suelos ácidos o básicos, por lo que constituyen indicadores del pH del medio (Luciáñez & Simon 1991). Algunas especies como *Mesaphorura yosiii*, *Anurida pygmaea* y *Willemia anophtholma*, se acumulan abundantemente sólo en suelos ácidos (pH 4.0 o menos), mientras que *Isotoma notabilis* abunda solamente en suelos con niveles de pH superiores a 6 (Hågvar, 1984). El mismo autor refiere que algunas especies de colémbolos han sido probadas como indicadoras de determinadas condiciones edáficas, así, en

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

relación con la humedad, resulta que *Amurophorura septentrionalis*, *Isotoma sensibilibs*, *Xenylla boeneri* e *Hypogastrura inermis* son típicas de lugares secos, mientras que *Isotoma olivacea* se halla en suelos húmedos. De acuerdo a la profundidad del suelo, *Tullbergia callipygos*, *T. quadrispina*, *Wankeliella mediochaeta* y *Karlstejnia norvegica* se encuentran por debajo de los 6 cm de profundidad y *Amurida pygmaea* pudiera ser usada como habitante de suelos húmedos a 6 cm de profundidad.

Luciáñez & Simon (1991) registran que son abundantes las citas donde se utilizan a los colémbolos como bioindicadores para revelar las diferencias en el desarrollo de los bosques y su influencia en la evolución normal de los ecosistemas.

Frampton & Wratten (2000) exponen que se ha observado que después de la aplicación de ciertos insecticidas, herbicidas y fungicidas en campos cultivados, aumentan las densidades poblacionales de colémbolos saprófagos, sin embargo otros estudios revelan reducciones en el número de colémbolos, lo que sugiere que existen especies sensibles que pudieran ser propicias para pruebas de compatibilidad de estos productos en el medio (Bengtsson *et al.* 1988; Frampton 1994, 1999, 2000).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## MÉTODOS

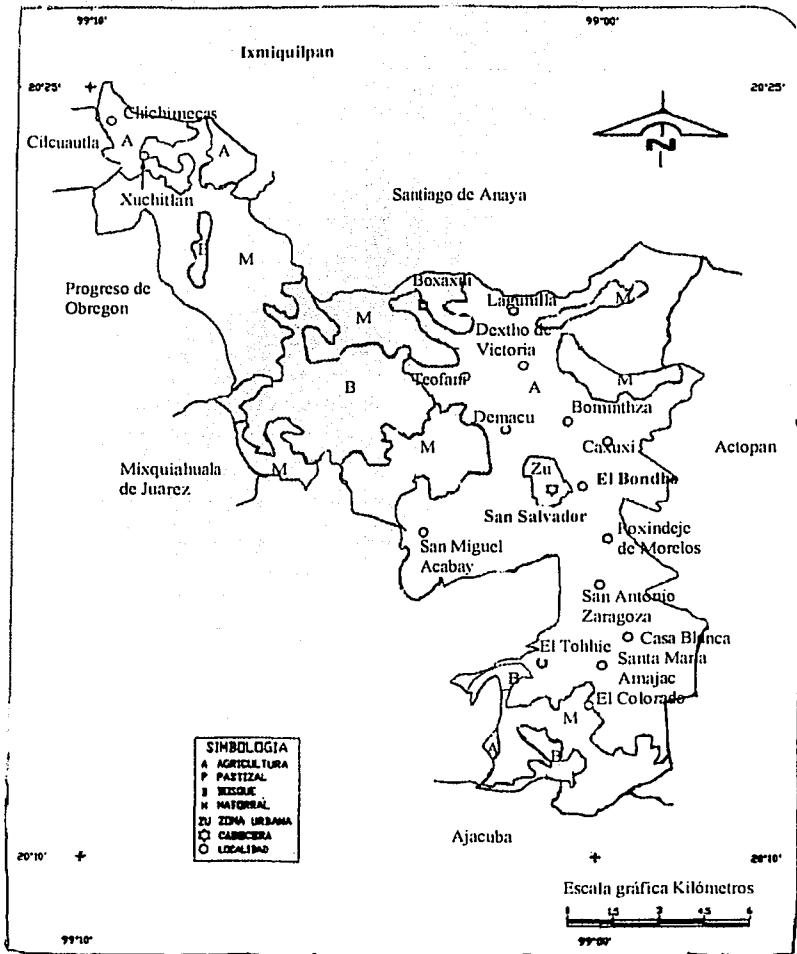
En el sitio de estudio se eligieron dos zonas para los muestreos en un Phaeozem con diferente tipo de riego (una con regadío de agua de pozo y la otra con agua residual), mediante el uso de fotografías aéreas de información geográfica del INEGI y en correspondencia con cartografía elaborada por el Distrito de Desarrollo Rural 063 (1996).

Las parcelas tienen una superficie de 7,000 m<sup>2</sup> y están a una distancia de un kilómetro una de otra. Presentan un perfil de suelo profundo de origen aluvial, fértil y con una estructura buena, ámbos sitios son utilizados para la agricultura, donde se siembra maíz y alfalfa de forma alternativa. La única deferencia de estas dos zonas es el tipo de riego (en San Salvador se riega con aguas residuales y en El Bondho con agua de pozo) que se utiliza en los sembradíos (Mapa 1).

### Trabajo de campo

En el campo se determinaron las zonas de muestreo, y en cada terreno elegido se trazó una parcela de 50 x 20 m, dónde se tomaron 10 muestras de suelo (capa arable 0-20 cm) al azar, mediante un nucleador cuyo diámetro es de 10.5 cm y con una profundidad de 5 cm para la extracción de los microartrópodos (Collembola), de los mismos sitios se tomaron las muestras de suelo para los análisis edáficos. Este procedimiento se realizó cada dos meses, de Diciembre de 1998 a Octubre de 1999, completándose un ciclo anual, constituyendo un total de 120 muestras (60 para cada parcela) para la fauna y otra cantidad similar para la determinación de los parámetros edáficos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Mapa. 1. Ubicación geográfica de las parcelas estudiadas, en San Salvador y El Bondho, Hidalgo.  
Fuente: INEGI, 1998

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **Trabajo de laboratorio**

### **a) Fauna**

Las muestras de suelo fueron debidamente rotulados y trasladadas al laboratorio donde se procesaron utilizando el método del embudo de Berlese-Tullgren por 6 días para extraer la fauna de Microartrópodos. Posteriormente se procedió a separar y a cuantificar los colémbolos de los demás microartrópodos con la ayuda del microscopio estereoscópico, simultáneamente se realizaron preparaciones permanentes en líquido de Hoyer para identificar a los colémbolos, siguiendo la técnica modificada de Christiansen & Bellinger (1980). Por último se selló la preparación con barniz para evitar su hidratación. Las identificaciones de los ejemplares fueron apoyadas con diferentes claves (Christiansen y Bellinger 1980; Palacios-Vargas 1991; Palacios-Vargas & Gómez-Anaya 1993) en el microscopio de contraste de fases marca Carl Zeiss.

### **b) Análisis de suelo**

Para la determinación de la materia orgánica se utilizó la técnica vía húmeda con dicromato de potasio, el método Walkley y Black modificado por Walkley (1947). Para la densidad real se utilizó el método del picnómetro; para la densidad aparente, el método de la probeta; la porosidad, por medio de la diferencia entre la densidad aparente y real, el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{K}^+$  intercambiables se determinaron por centrifugación, extracción con acetato de amonio 1N, titulación por el método de versenato EDTA 0.20 N, utilizando como indicador murexida y negro ericromo T (Cheng & Bray 1951). Para la determinación del pH se realizó con agua destilada hervida y KCl en relación 1:5 y 1:10 respectivamente (Jackson 1982), utilizando un potenciómetro Corning 340 modelo 7. Lo anterior se efectuó en el laboratorio de Edafología Nicolás Aguilera de la Fac. de Ciencias UNAM.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### c) Análisis estadísticos

De acuerdo a la variación temporal y a los aspectos ecológicos, se determinaron las abundancias relativas (%), el coeficiente de distribución de Morisita, los porcentajes de permanencia (permite evaluar la fidelidad de los colémbolos a un determinado biotopo, así como la duración aproximada en el tiempo que se realizó el muestreo, que tienen las especies en cada biotopo), los índices de diversidad de Shanon-Winner ( $H'$ ), índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ), el índice de dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) y los números de Hill ( $N_2$ ), utilizando el programa estadístico de Ludwing & Reynolds (1988). Se calculó el índice de similitud de Sørensen para comparar ambas áreas, se determinaron las diferencias significativas entre las abundancias de las comunidades y los factores edáficos. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para comparar las dos áreas estudiadas. Los datos se corrigieron mediante la ecuación  $(\sqrt{X' + 0.5})$  para acercar a la normalidad la distribución que presentaban los datos originales (Zar 1984).

Todas las pruebas estadísticas se realizaron con el programa STATISTICA, ver. 6.0 (StatSoft 1995).

Índice de distribución de morisita:

$$Id = n \frac{\sum (x^2) - \sum x}{(\sum x)^2 - \sum x}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Porcentaje de permanencia:

$$P. \text{ permanencia} = \frac{\text{Meses en que aparece } X}{\text{Meses muestreados}} \times 100$$

índice de diversidad de Shannon-Winner:

$$H' = - (\sum p_i \ln p_i)$$

Índice de equitatividad de Pielou:

$$J' = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln s}$$

Índice de dominancia de Simpson:

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Números de Hill:

$$N_2 = 1/\lambda$$

Índice de similitud de Sørensen:

$$CS = \frac{2C}{A + B} \times 100$$

a = spp presentes en el sitio A,

b = spp presentes en el sitio B

c = spp que comparten ambos sitios



## Resultados

### Composición de la fauna de colémbolos

Se contaron y determinaron los colémbolos a nivel específico, de los seis muestreos realizados durante un año (XII/98 a X/99), se extrajeron 5,967 colémbolos que representan 10 familias, 20 géneros y 31 especies (Cuadro 2).

En la parcela de San Salvador se encontraron diez familias: Hypogastruridae, Odontellidae, Bachystomellidae, Neanuridae, Onychiuridae, Isotomidae, Entomobryidae, Sminthurididae, Katiannidae y Neelidae, con 29 especies.

En la parcela de El Bondho se encontraron ocho familias: Hypogastruridae, Bachystomellidae, Onychiuridae, Isotomidae, Entomobryidae, Sminthurididae, Katiannidae y Neelidae, con 19 especies.

Dos de las diez familias (Odontellidae y Neanuridae), fueron exclusivas para la parcela de San Salvador, así como también doce de las especies para la misma parcela. Dichas especies son: *Ceratophysella succinea*, *Xenylla grisea* X. *christianseni*, *Xenyllodes armatus*, *Friesea* sp., *Pseudachorutes corticicolus*, *Folsomides parvulus*, *Proisotoma* sp., *Cryptopygus* ca. *benhami*, *C. thermophilus*, *Isotomiella minor* y *Sminthurinus atrapallidus* (Cuadro 2).

### Abundancia absoluta y relativa de los colémbolos

Como producto de la cuantificación del material colectado se obtuvieron 5,967 ejemplares en ambas parcelas de trabajo; perteneciendo 4,833 ejemplares a la parcela de San Salvador y 1,134 a la parcela de El Bondho. Con base en los datos anteriores se puede inferir que la parcela con mayor abundancia de ejemplares es San Salvador, que también presentó la mayor riqueza específica, 29 contra 19 (Cuadro 2).

En cuanto a la abundancia estacional del total de Collembola el mes con la mayor abundancia fue abril en el área de San Salvador, que corresponde a la temporada de secas (Fig. 2), y en el área de El Bondho la más baja se encontró para el mismo mes (Fig. 2).

El mismo comportamiento se encontró para las densidades poblacionales ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) de Collembola en las dos áreas estudiadas (Fig. 3).

De las familias encontradas para cada parcela, para San Salvador las más abundantes fueron Isotomidae con 67%, Hypogastruridae con 18%, y Entomobryidae con el 11% mientras que las familias con menos representantes fueron Odontellidae, Brachystomellidae, Neanuridae, Katiannidae y Neelidae que constituyeron el 1% al igual que Sminthuridae (Fig. 4).

Por otro lado, la familia Entomobryidae alcanzó el 66% de abundancia en la parcela de El Bondho, seguida de la familia Isotomidae con 17% y Onychiuridae con el 10% mientras que las familias menos abundantes fueron Sminthuridae con el 4%, Hypogastruridae, Brachystomellidae y Katiannidae apenas alcanzaron el 1% (Fig. 5).

En cuanto a la abundancia relativa de las especies principales *Proisotoma minuta* representó el 47%, con respecto al total de las especies colectadas, seguida por el 14% de *Cryptopygus thermophilus*, el 9% de *Xenylla grisea* y 9% de *Hypogastrura essa* en el área de San Salvador (Fig. 6). En el Bondho el 35% fueron de *Entomobrya triangularis*, el 17% de *Pseudosinella octopunctata*, y el 10% de *Entomobrya ligata* (Fig. 7).

Cuadro 2 Lista taxonómica, abundancia (rango), densidad (ind/m<sup>2</sup>), riqueza específica, diversidad de Shannon (H'), Equitatividad (J'), dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) y número de Hill (N<sub>2</sub>) de Collembola de dos agrosistemas en Hidalgo, México.

Especie / Localidad	San Salvador	El Lindero
<i>Hypogastrura essa</i>	411 (1-179)	1 (0-1)
<i>Ceratophysella succinea</i>	28 (1-25)	0
<i>Schoettella distincta</i>	2 (0-2)	4 (0-4)
<i>Xenylla grisea</i>	434 (1-84)	0
<i>Xenylla christiansen</i>	1 (0-1)	0
<i>Xenyllodes armatus</i>	4 (1-3)	0
<i>Brachystomella parvula</i>	2 (0-1)	1 (0-1)
<i>Frusea</i> sp.	1 (0-1)	0
<i>Pseudachorutes corticicolus</i>	6 (0-6)	0
<i>Mesaphorura yosui</i>	59 (1-11)	102 (1-71)
<i>Mesaphorura krausbaueri</i>	54 (1-15)	10 (1-4)
<i>Isotomodes</i> ca. <i>Subarmatus</i>	0	3 (0-3)
<i>Folsomides parvulus</i>	17 (1-6)	0
<i>Proisotoma minuta</i>	2299 (1-260)	58 (1-13)
<i>Proisotoma</i> sp.	4 (0-4)	0
<i>Ballistura laticauda</i>	101 (1-35)	10 (1-42)
<i>Cryptopygus</i> ca. <i>benhami</i>	145 (1-27)	0
<i>C. thermophilus</i>	668 (1-110)	0
<i>Isotomurus haines</i>	0	5 (0-5)
<i>Isotomiella minor</i>	5 (1-4)	0
<i>Entomobrya ligata</i>	39 (2-11)	12
<i>E. triangularis</i>	370 (1-43)	40 (1-58)
<i>Lepidocyrtus pallidus</i>	30 (2-16)	1 (0-1)
<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>violaceus</i>	5 (2-3)	2 (0-2)
<i>Pseudosminella octopunctata</i>	22 (1-3)	19 (1-75)
<i>P. violenta</i>	51 (1-5)	38 (1-9)
<i>Sphaeridia serrata</i>	48 (1-30)	42 (1-12)
<i>Sminthurinus atrapallidus</i>	15 (1-6)	0
<i>Sminthurinus quadrimaculatus</i>	1 (0-1)	1 (0-1)
<i>Megalothorax incertus</i>	5 (1-3)	9 (1-2)
<i>M. minimus</i>	6 (1-3)	18 (1-7)
Total org	4,833	34
Ind/m <sup>2</sup>	8,479	69
Total de s; p	29	9
H'	1.857612	2.7954
J'	0.556629	0.8740
$\lambda$	0.268397	0.8865503
N <sub>2</sub>	3	5

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

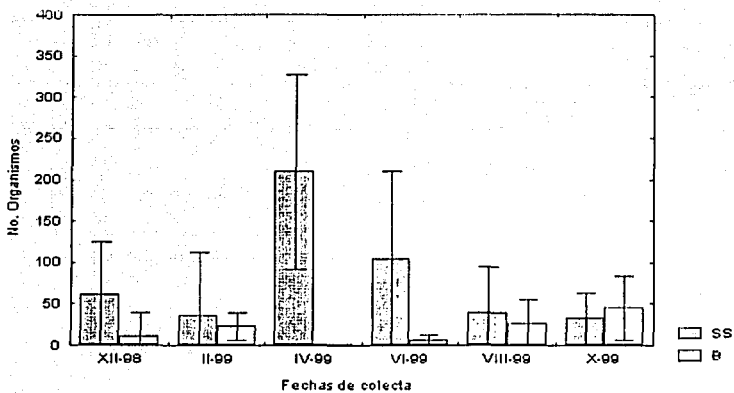


Figura 2. Variación anual de la abundancia de Collembola de dos agroecosistemas en Hidalgo. SS (San Salvador), B (El Bondho)

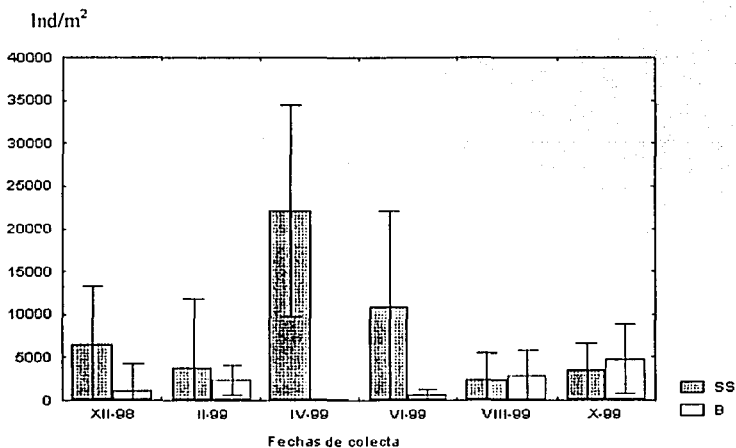


Figura 3. Variación anual de las densidades (ind/m<sup>2</sup>) de Collembola en San Salvador (SS) y El Bondho (B), Hidalgo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

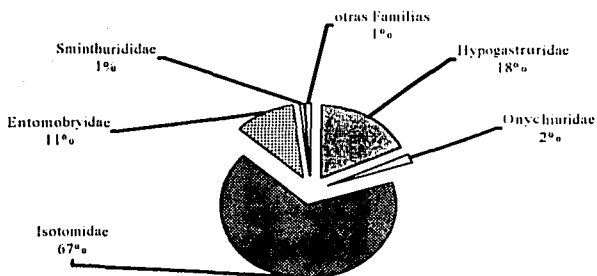


Figura 4. abundancia relativa en porcentaje de las familias encontradas en San Salvador, Hidalgo durante el estudio

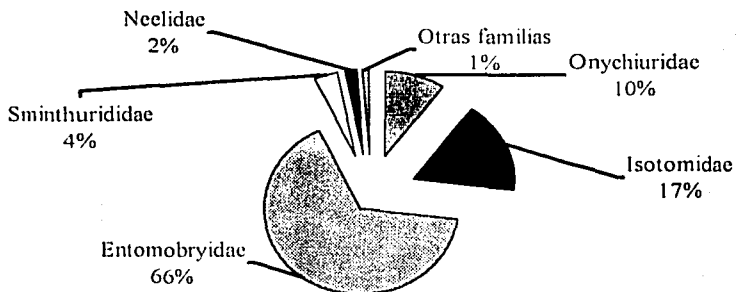


Figura 5. Abundancia relativa en porcentaje de las familias colectadas en El Bondho, Hidalgo durante el estudio

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

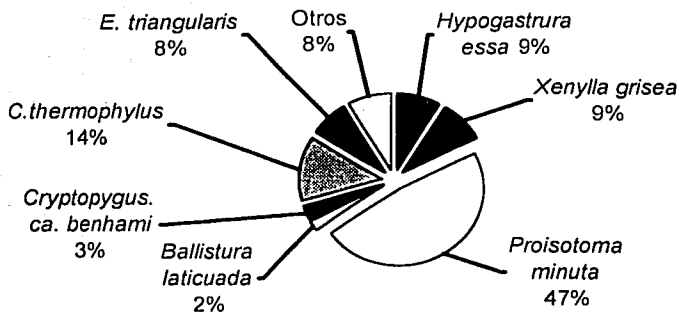


Figura 6. Abundancia relativa de las especies de Collembola colectadas durante el estudio en San Salvador, Hidalgo.

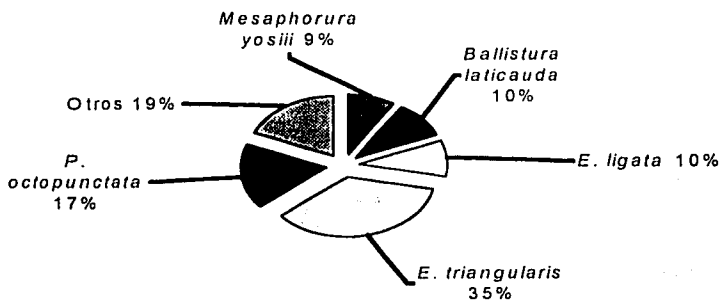


Figura 7. Abundancia relativa de las especies de collembola colectadas durante el estudio en El Bondho, Hidalgo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las poblaciones estudiadas tienen una distribución agregada por naturaleza. Repartición que con frecuencia presentan los organismos del suelo (Collembola), por lo que se menciona que es normal debido a que existen especies con muchos ejemplares y pocas especies con muy pocos.

De acuerdo al coeficiente de distribución de Morisita se observó que tanto la parcela de San Salvador y la parcela del El Bondho presentaron una distribución agregada (Id San Salvador = 1.6; Id El Bondho = 1.95,  $p < 0.05$ ).

Cabe mencionar que este tipo de reparto puede estar determinada o más bien influenciada por fuerzas ambientales externas como la temperatura, corrientes de agua e intensidad de luz, o bien factores reproductivos o algún otro factor edáfico como, pH, M.O., densidad real, aparente, porosidad, cationes intercambiables (Axelsen & Kristensen 2000; Chagnon *et al.* 2000; Mateos 1988; Mendoza *et al.* 1999).

### Porcentaje de Permanencia

A partir de los valores obtenidos por medio del porcentaje de permanencia, las especies se pueden dividir en: dominantes, las que presentan más del 66%; abundantes, las que se encuentran entre 33 y 66% y raras, aquellas con menos de 33% (Rapoport & Najt 1966).

Para la parcela de San Salvador, las especies dominantes que alcanzaron porcentajes de permanencia superior al 66% son: *Xenylla grisea*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus ca. henhami*, *C. thermophilus*, *Hypogastrura essa*, *Entomobrya triangularis* y *Pseudosinella octopunctata*, en tanto que las especies abundantes, presentaron un porcentaje entre 34 y 66% y son: *Mesaphorura yosii*, *M. krausbenari*, *Folsomides parvulus*, *Pseudosinella violenta*, *Ballistura laticauda*, *Entomobrya ligata*, *Lepidocyrtus pallidus*, *Sphaeridia serrata*, *Megalothorax incertus* y *M.*

*minimus*; las otras 13 especies restantes de esta parcela se les consideran raras porque alcanzaron porcentajes entre 16-33%.

Para la parcela de El Bondho se encontró una sola especie dominante *Entomobrya triangularis* que alcanzó el porcentaje de permanencia superior al 66%. En tanto que las especies abundantes fueron, *Entomobrya ligata*, *Pseudosinella octopunctata*, *P. violenta*, *Mesaphorura yosiii*, *Proisotoma minuta*, *Ballistura laticauda* mientras que las restantes fueron raras, ya que representan entre el 16-33% del porcentaje de permanencia.

#### Índice de diversidad ( $H'$ ), Equitatividad ( $J'$ ) y Dominancia ( $\lambda$ ).

De acuerdo con los datos globales para cada área de muestreo indican que el área que tiene una mayor diversidad y equitatividad es El Bondho (Cuadro 2), pero con una menor dominancia, específica, y con 5 especies muy abundantes (Cuadro 2), *E. triangularis*, *P. octopunctata*, *E. ligata*, *B. laticauda*, y *M. yosiii* respectivamente.

De acuerdo al análisis estadísticos con la prueba de "t" se encontraron diferencia significativa entre los dos índices de diversidad de Shannon-Winner con respecto al tipo de riego para las dos áreas estudiadas utilizando los datos totales ( $t = 1.96$ ;  $p < 0.05$ ;  $gl = 96$ ).

Para determinar el posible cambio o efecto sobre la composición de la comunidad de Collembola para cada una de las áreas, se determinó con el índice de Sørensen.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### **Coefficiente de Similitud de Sørensen**

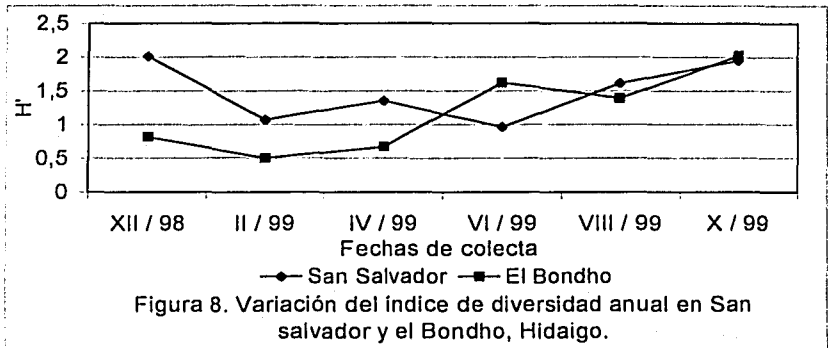
El resultado del cálculo del coeficiente de similitud global entre la parcela de San Salvador y el Bondho fue de 71 %. Este resultado indica que existe un 71% de semejanza entre la composición de las comunidades de colémbolos en las dos parcelas, ésto puede deberse a las alteraciones inducidas al sistema suelo por las labores agrícolas en ambas parcelas, ya que la semejanza faunística o la probabilidad de encontrar unas especies entre ambos biotopos es menor al 90%. De lo anterior se hace una comparación sobre las similitudes obtenidas bibliográficamente; De Izarra & Boo (1980) encuentran una mayor similitud (76%) al estudiar los efectos de una reforestación con plantas introducidas sobre los microartrópodos, en suelos forestales de Argentina; mientras que Delgadillo (2000) obtiene una mayor similitud (87%) al estudiar los colémbolos de tres tipos de asociaciones vegetales del centro de formación Omeyocan, Estado de México.

Por otro lado, la fuerte alteración en el sistema de un cultivo implica la aparición de nuevas condiciones, que pueden permitir la extinción de especies típicas habitantes de un bosque y propiciar el desarrollo de otras, que son pioneras y cosmopolitas (Dunger 1986; Hermosilla & Rubio 1976). Esto podría explicar de alguna manera, el porqué la probabilidad de encontrar especies comunes en ambas parcelas es del 71%. Por lo tanto se puede decir que existe efecto debido al uso y las condiciones del suelo sobre la composición de la fauna de Collembola en ambas comunidades estudiadas.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### Indices de diversidad y de equitatividad por fechas de colecta

Mediante el índice de diversidad ( $H'$ ) se observaron las variaciones que las comunidades de Collembola presentaron en los dos agroecosistemas con respecto a las diferentes fechas de colecta (Fig. 8).

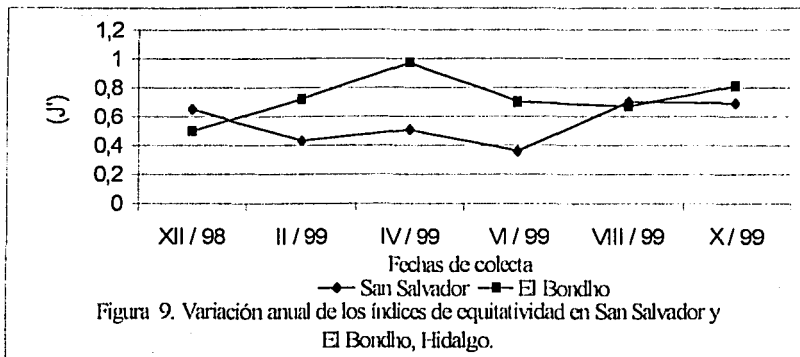


Las primeras colectas coincidieron con los mayores índices de diversidad para el área de San Salvador, y en los meses de Julio y agosto hubo un traslape entre los índices de las dos parcelas y para la última colecta se asemejan mucho (Fig. 8). Para poder determinar las posibles variaciones en cuanto a los diversos índices calculados se llevó a cabo la prueba de "t" para poder evaluar algún efecto significativo entre los meses de colecta y las parcelas estudiadas.

Tomando en cuenta los índices de equitatividad ( $J'$ ), riqueza ( $S$ ), se observó que el área de El Bondho presentó los índices más altos de equitatividad a pesar de que su riqueza específica se

FALLA DE ORIGEN

mantuvo mucho más bajo que San Salvador, por lo que se puede inferir que El Bondho tiene muy bien distribuidas a sus poblaciones (Fig. 9).



De acuerdo con la prueba de "t", se encontró una variación estadísticamente significativa para los meses de Diciembre de 1998, Febrero, Abril y Agosto de 1999. Esto bien pudo deberse a las bajas abundancias que se observa en una de las parcelas o bien pudo ser por alguno de los factores edáficos que se encontraron para cada parcela (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de "t" para la diversidad mensual de las dos parcelas estudiadas, en el municipio de San Salvador, Hidalgo. ( $\alpha = p < 0.05$ )

	San Salvador					
El Bondho	XII / 98	II / 99	IV / 99	VI / 99	VIII / 99	X / 99
XII / 98	13.3775					
II / 99		15.2151				
IV / 99			17.0958			
VI / 99				-0.4604		
VIII / 99					1.96	
X / 99						0.91

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los porcentajes de similitud obtenidos entre cada fecha de muestreo para las dos parcelas estudiadas indican que en el mes de julio hubo una mayor similitud (67%) debido a que ambas parcelas comparten un mayor número de especies y la menor similitud se encontró para el mes de febrero con 14% de donde sólo comparten una especie ambas parcelas (Cuadro 4). Por lo que se puede predecir que cada especie encontrada nos indica que tienen preferencia por una de las dos parcelas estudiadas y que no todos suelen encontrarse distribuidos en ambas áreas de muestreo, pudiendo ser esto como resultado del alto grado de perturbación que presentan las parcelas (sobre todo la de El Bondho) por efecto de varios factores abióticos que están interviniendo de cierto modo en esta área.

Cuadro 4. Coeficiente de Similitud de Sørensen por fecha de colecta para ambas parcelas

		San Salvador				
El Bondho	XII /98	II / 99	IV / 99	VI / 99	VIII / 99	X / 99
XII / 98	37 %					
II / 99		14 %				
IV / 99			25 %			
VI / 99				67 %		
VIII / 99					55%	
X / 99						62%

FALLA DE ORIGEN

## Análisis edafológicos

En cuanto a los resultados obtenidos de los análisis edafológicos sólo se consideraron el pH en KCl, la conductividad eléctrica, materia orgánica, calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables, así como la porosidad (calculada a partir de los valores de densidad aparente y densidad real) (Cuadro 5).

De acuerdo con los porcentajes de arcilla, limo, y arena, la clase textural del suelo fue (migajón arcilloso), por lo que esta característica no se considera como determinante en la distribución de los colémbolos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Datos promedio  $\pm$  de de las características Físicas y Químicas del suelo de dos parcelas en el Municipio de San Salvador, Hidalgo.

Parametro	San Salvador	El Bondho
PHKCl	6.58 $\pm$ 0.30	7.57 $\pm$ 0.22
C.E	2.12 $\pm$ 0.75	2.97 $\pm$ 1.04
M.O.	2.77 $\pm$ 3.63	2.84 $\pm$ 2.72
Ca <sup>++</sup>	23.04 $\pm$ 8.30	44.33 $\pm$ 16.38
Mg <sup>++</sup>	16.84 $\pm$ 8.19	23.03 $\pm$ 14.05
K <sup>++</sup>	3.15 $\pm$ 1.20	5.56 $\pm$ 2.69
Na <sup>++</sup>	2.69 $\pm$ 0.91	5.12 $\pm$ 5.53
P (%)	49.33 $\pm$ 3.53	50.13 $\pm$ 3.71

De acuerdo al ANOVA, el pH mostró diferencias (Cuadro 1 Apéndice I) entre ambos terrenos, con valores siempre más alcalinos en el terreno regado con agua de manantial. Al comparar los datos de conductividad eléctrica (C.E), se deduce que la diferencia (cuadro 1 Apéndice I) que se encontró en ambas parcelas se debió a la acumulación de sales que existen en el terreno regado con agua de manantial, rebasando en algunos casos hasta más de  $4\text{dSm}^{-1}$  (Fig 10), alcanzando en algunos casos niveles tóxicos (Allison 1993), mismo que se hace notorio para los

ORIGEN

meses de diciembre, abril y agosto (Fig. 11). En cuanto a la época de muestreo, ambos terrenos se comportaron de manera similar, cuando el pH subió, la conductividad eléctrica se incrementó también en ambas parcelas, pero siempre la medición realizada con el suelo regado con agua de manantial tendió a ser más alcalina (Fig. 10 y 11).

La concentración de los cationes intercambiables, siguió la misma tendencia que el pH y se encontraron diferencias entre los terrenos (Cuadro 1 Apéndice I). Los mayores valores se presentaron en el suelo regado con agua de manantial, también existieron diferencias entre los meses de muestreo (Cuadro 1 Apéndice I), con excepción del magnesio, que mantuvo valores similares durante todo el año (Fig. 12 y 13). La relación entre los cationes es  $Mg^{++} > Ca^{++} > K^{+} > Na^{+}$ , que son proporciones normales para un suelo con aporte constante de material calcáreo (Bonneau 1987).

Ninguno de los dos terrenos presentó niveles tóxicos de sodio, ya que en todos los casos sus contenidos son menores a  $6 \text{ cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}$  (Fig. 12 y 13).

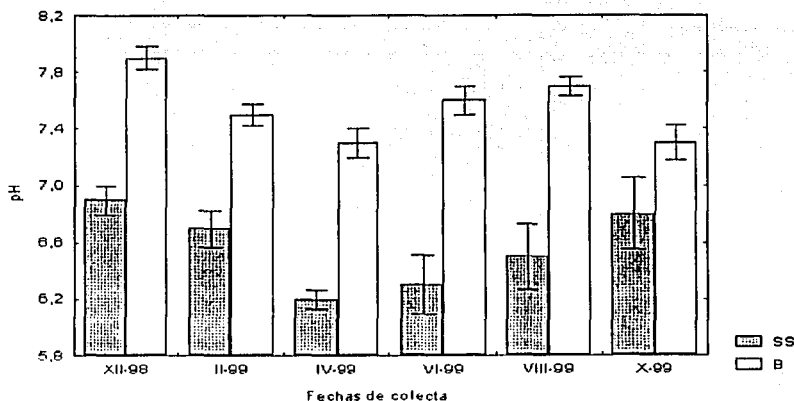
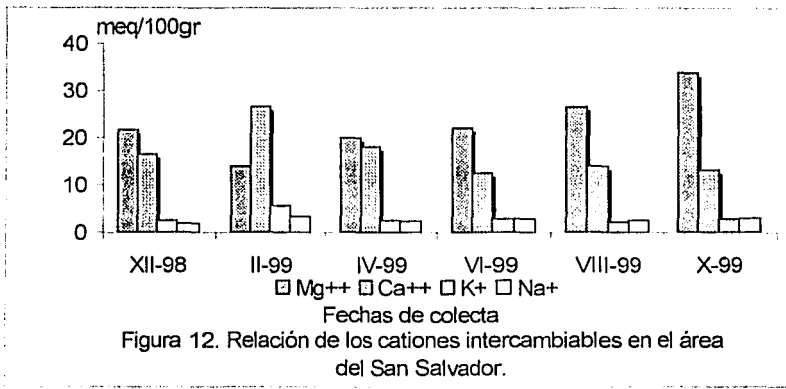
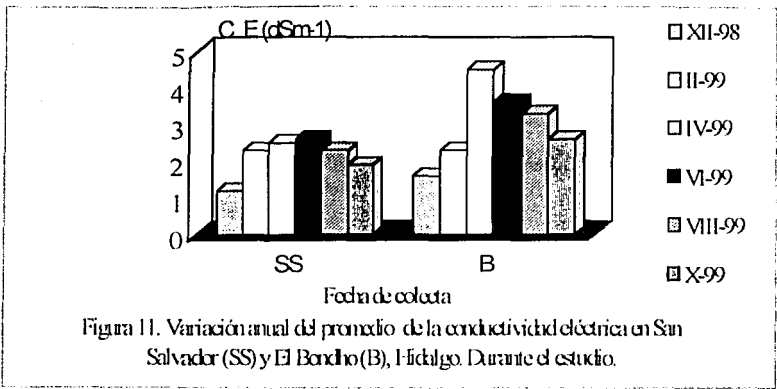
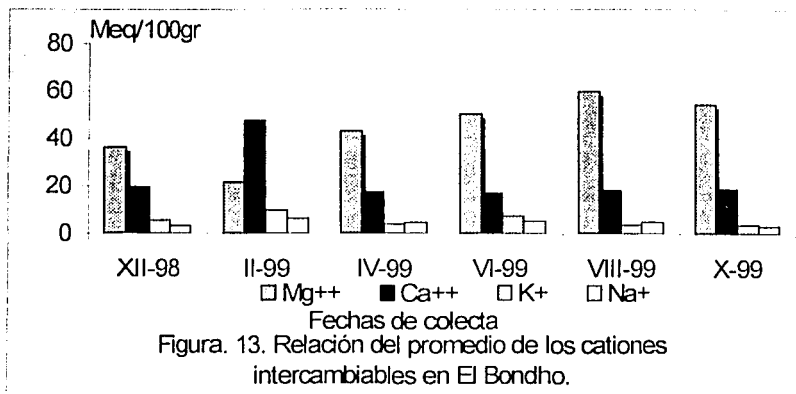


Figura 10. Variación del promedio del pH en San Salvador (SS) y El Bondho (B), Hidalgo. Durante el estudio.





Al efectuar al análisis ANOVA de dos vías se obtuvo que la porosidad no mostró diferencias (Cuadro 1 apéndice I) estadísticas entre los terrenos regados con diferente calidad de agua, únicamente lo hace por fechas de colecta. Mientras que es similar en ambos terrenos durante el año con porcentajes cercanos al 50 % (Fig. 14).

En cuanto al porcentaje de materia orgánica (M.O.), sólo en los meses de junio y agosto se presentó una diferencia significativa (Cuadro 1 apéndice I) entre los dos terrenos (menor abundancia en el suelo regado con agua residual), para el resto de los meses la concentración fue muy similar (Fig. 15).

Estadística de la Universidad de Cuenca



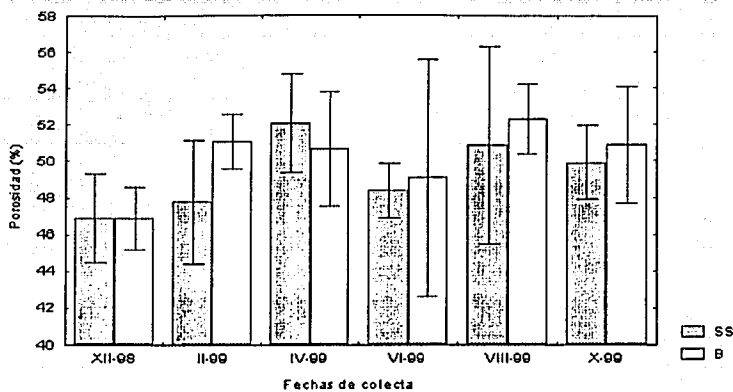


Figura 14. Variación de la porosidad del suelo (%) de San Salvador (SS) y El Bondho (B), Hidalgo durante el estudio.

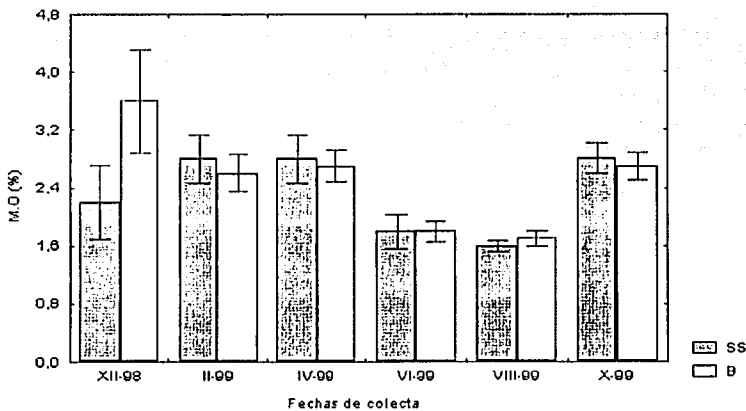


Figura 15. Variación del promedio de la Materia Orgánica en San Salvador (SS) y el Bondho (B), Hidalgo durante el estudio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Análisis de las especies de colémbolos

También se estudió la abundancia de los colémbolos en su comportamiento estacional y por tipo de riego, efectuando el (ANOVA) de dos vías. Se analizaron dos factores para determinar si existía efecto significativo de tipo de riego, de los meses del año y de la interacción entre esos dos factores. Los resultados se muestran en el cuadro 2 del apéndice I. La presencia de las especies de Collembola promedio para diferentes combinaciones de tipo de riego y mes, junto con sus correspondientes intervalos de diferencia mínima significativa (95% de confianza) de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey nos dice que especies mostraron diferencias entre las localidades y los meses de muestreo.

Las especies *Ceratophysella succinea*, *Schoettella distincta*, *Xenylla christianseni*, *Xenyllodes armatus*, *Brachystomella parvula*, *Friesea* sp., *Pseudachorutes corticicolus*, *Isotomodes subarmatus*, *Proisotoma* sp., *Isotomiella minor* y *Sminthurinus quadrimaculatus*, no presentaron diferencia alguna entre los parámetros analizados, por lo que se infiere que estadísticamente son iguales entre los meses de muestreo, tipo de riego e interacción entre los dos factores (Cuadro 2 apéndice I).

*Xenylla grisea*, *Folsomides parvulus*, *Cryptopygus* ca. *benhami*, *Pseudosinella octopunctata* sólo mostraron diferencias estadísticas (Cuadro 2 apéndice I) por el tipo de riego. Las tres primeras especies se encontraron sólo en la parcela regada con aguas residuales mientras que la última estuvo presente en ambas parcelas (Cuadro 2).

*Mesaphorura yosiii*, *Lepidocyrtus* ca. *violaceus*, *Pseudosinella violenta*, *Sphaeridia serrata*, *Megalothorax incertus* y *M. minimus* son las especies que presentaron diferencias estadísticas por la época de muestreo y no por el tipo de riego (Cuadro 2 apéndice I). *Mesaphorura yosiii*, es mucho más abundante que *Pseudosinella violenta* *Lepidocyrtus* ca.

*Violaceus*, *Sphaeridia serrata*, *Megalothorax incertus* y *M. minimus*. Las seis especies se encontraron en ambas parcelas.

*Ballistura laticauda*, *Entomobrya ligata* y *E. triangularis* mostraron diferencias estadísticas por el tipo de riego y no por la época de muestreo, y a su vez mostró también una diferencia estadística en la interacción de ambos factores (Cuadro 2 apéndice I). La última especie fue la más abundante de las otras dos y se colectaron 370 individuos en la parcela de San Salvador mientras que en El Bondho se colectaron 403 ejemplares.

El análisis de ANOVA efectuado con las abundancias de *Hypogastrura essa*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus*, *Isotomurus bimus*, *Iepidocyrtus pallidus* y *Sminthurinus atrapallidus*, mostraron diferencias estadísticas tanto en la interacción entre los factores, así como por el tipo de riego, y meses del año en que se colectó al efectuar el análisis por separado (Cuadro 2 apéndice I). *C. thermophylus*, y *Sminthurinus atrapallidus* únicamente se encontraron en la parcela de San Salvador, *I. bimus* esta presente en El Bondho, mientras que las otras especies se encuentran distribuidas en ambas parcelas, la especie más sobresaliente en abundancia fue *Proisotoma minuta* (2,299) sobresaliendo en el mes de abril con 1,235 organismos.

En cuanto a la relación de la abundancia de especies encontradas en las parcelas estudiadas con los parámetros físicos y químicos del suelo determinados, se obtuvo por medio de la regresión múltiple un resultado significativo algunas veces positivo y otras negativo para varias especies (Cuadro 3 del apéndice I). Encontrando que el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, catión  $Mg^{++}$  y  $Na^{+}$  intercambiables fueron los factores que mejor se correlacionan con las diferentes especies evaluadas. En el apéndice I cuadro 3 se muestran los coeficientes de correlación para las diferentes especie evaluadas con los parámetros edáficos involucrados.

Las especies que se correlacionaron significativamente con el pH fueron *Xenilla grisea* ( $r_{10R} = -0.38$ ;  $p < 0.05$ ), *Mesaphorura krausbaueri* ( $r_{10R} = -0.43$ ;  $p < 0.05$ ), *Proisotoma minuta* ( $r_{10R} = -0.80$ ;  $p < 0.05$ ), *Cryptopygus thermophylus* ( $r_{10R} = -0.48$ ;  $p < 0.05$ ) siendo estas en forma negativa por lo tanto las especies involucradas con estos resultados se consideran como indicadoras de ambientes ácidos, o bien son especies acidófilas, mientras que las especies como *Entomobrya triangularis* ( $r_{10R} = 0.39$ ;  $p < 0.05$ ), *Lepidocyrtus ca. violaceus* ( $r_{10R} = 0.38$ ;  $p < 0.05$ ) y *Pseudosinella octopunctata* ( $r_{10R} = 0.39$ ;  $p < 0.05$ ) demuestran afinidad a la alcalinidad, por lo tanto se consideran como especies indicadoras de medios alcalinos como lo puede ser El Bondho. Cabe mencionar que *Hypogastrura essa*, *Ceratophysella succinea*, *Schoettella distincta*, *Xenyllodes armatus*, *Friesea* sp., *Pseudachorutes corticiculus*, *Isotomodes ca. subarmatus*, *Folsomides parvulus*, *Proisotoma* sp., *Cryptopygus ca. benhami*, *Isotomiella minor*, *Entomobrya ligata*, *Lepidocyrtus pallidus*, *Pseudosinella violenta*, *Sminthurinus quadrimaculatus*, *Megalothorax incertus* y *M. minimus* no se correlacionaron significativamente con ninguna de las variables evaluadas.

La mayoría de las correlaciones resultaron negativas para el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica,  $Mg^{++}$  y  $Na^{+}$  intercambiables, mientras que con el  $Ca^{++}$  y el  $K^{+}$ , no existen correlación alguna (Cuadro 3 del apéndice 1).

## DISCUSIÓN

La actividad de la fauna del suelo (entre ellos los colémbolos) es esencial para el funcionamiento de todos los ecosistemas terrestres, por lo tanto los colémbolos juegan un papel importante dentro los distintos ecosistemas en los que se les puede encontrar, ya que intervienen en la transformación física y química de la hojarasca al convertirlos en nutrientes del suelo, mantienen la fertilidad del mismo y sostienen en parte su productividad. Sin embargo, cuando un suelo es conducido por la actividad humana a la agricultura, éste cambia, afectando el papel funcional y estructural de la fauna que se encuentra en él, por lo tanto los invertebrados del suelo, tales como los colémbolos, son considerados por varios autores como buenos indicadores de los cambios que sufren las condiciones del suelo a la que se ha sometido, encontrando por lo general bajas densidades en sus poblaciones, diversidad y composición de la población muy distinta a los que se puede encontrar en un ambiente natural (Alvarez *et al.* 1997; Battigelli & Marshall 1993; Chagnon *et al.* 2000; Culik *et al.* 2000; Díaz 1989; Mendoza *et al.* 1999; Palacios-Vargas 1996, 2000; Therrien *et al.* 1999).

En cuanto a la composición de la fauna de los colémbolos del suelo para este estudio; 10 familias fueron identificadas, que representan 20 géneros y 31 especies. De éstas, se contabilizan 4 familias más de las que reportan Miranda (1992) y Mendoza *et al.* (1999), para cultivos de haba, durazno y de maíz respectivamente. Las familias que fueron comunes tanto en los trabajos de los autores mencionados anteriormente como para este trabajo son: Hypogastruridae, Onychiuridae, Brachystomellidae, Isotomidae, Katiannidae y Neelidae.

El número de especies y géneros es similar a lo que se ha encontrado en los cultivos de maíz en Chiapas por Mendoza *et al.* (1999), en trigo en Inglaterra Frampton *et al.* (2001), en

suelos aluviales agrícolas en Slovakia, Kováč *et al.* (2001), y en áreas cultivadas abonadas con abono verde en un campo experimental de Dinamarca, Axelsen & Kristensen (2000).

De las dos parcelas estudiadas, se puede constatar que el número de especies encontradas varía notoriamente una de la otra; 29 especies se colectaron en la parcela de San Salvador y 19 para la parcela de El Bondho, esta variación en el número específico ocurre normalmente en todos los ecosistemas alterados, principalmente en los suelos donde se practica la agricultura o bien se lleva alguna práctica forestal en ellos (Cutz 2001, 2002; Gómez-Anaya 1998; Kováč & Miklisová 1997; Sabatini *et al.* 1997; Therrien *et al.* 1999; Villalobos 1990; Zanin *et al.* 1995).

De las 12 especies exclusivas que presenta el área de San Salvador, unas cuantas se han reportado en diferentes áreas de cultivos, entre estas podemos mencionar a: *Ceratophysella succinea* citada por Miranda (1992) para áreas cultivadas con durazno, Kováč (1994) la registra para varios agroecosistemas de Slovakia; *Cryptophygus thermophilus*, *Isotomiella minor* y *Folsomides parvulus* son citados por Kováč *et al.* (2001) para sitios arables de Eslovaquia, mientras que González *et al.* (1997) y Díaz *et al.* (1996) los reportan para cultivos de la caña de azúcar de Cuba.

Por lo anterior, se puede mencionar que uno de los aspectos que influye en el cambio de la composición de los colémbolos en este estudio, puede ser producto del conjunto de las labores que tienen que efectuarse para desarrollar un cultivo como tal. Lo que incluye desde la limpieza del terreno sustrayendo la cobertura vegetal, quemar los residuos vegetales, el deshierbe, el barbecho, etc., hasta las labores propias del cultivo.

Por lo tanto, todas las actividades anteriores someten al suelo y a la biota que la acompaña a una presión intensa, produciendo una serie de cambios profundos, como son la desaparición de la cobertura vegetal, lo que ocasiona que las fluctuaciones en la temperatura sean más profundas a

nivel del suelo, aumentando la evaporación del agua, debido a las insolaciones mayores destruyendo los organismos de la porción más superficial del suelo.

También existe un aumento en la energía cinética de las gotas de la lluvia lo que lleva a inducir alteraciones en la estructura del mismo suelo propiciando la impermeabilidad del mismo, existiendo al mismo tiempo una mayor desecación de la porción superficial debido a corrientes de aire. Además la pérdida de la cubierta vegetal produce alteraciones en la calidad y cantidad de la hojarasca depositada propiciando al mismo tiempo cambios en la cantidad de la materia orgánica así como del pH y contenidos de N, P, K, etc. en el suelo.

Todo lo anterior propicia cambios en los suelos de las áreas de cultivo, que repercuten sobre la fauna de colémbolos, ya que tienden a desaparecer las especies "nativas" y más frágiles propias de un bosque, las que son sustituidas por especies cosmopolitas y pioneras de medios más alterados como las que aparecen en el cultivo. Algunas evidencias posibles de dicha tendencia serían que en los cultivos no existen especies que aparecen en un bosque natural, esto es debido a lo restringido de las condiciones que necesitan tales organismos para desarrollarse, como en el caso de los neanúridos.

En las áreas de cultivo existe una reducción de las especies que viven en la hojarasca y que se alimentan de ella (hemiedáficas) y un aumento de las especies que viven en el suelo mineral y que se alimentan del humus que se encuentra en el mismo suelo (euedáficas). Lo anterior posiblemente se deba a la acumulación de materia orgánica existente en el suelo mineral del cultivo y que la parte superior de dichas parcelas son poco estables en cuanto condiciones físicas (humedad, temperatura, etc.), lo que propicia una migración de los colémbolos de la hojarasca y porciones superiores del suelo hacia regiones un poco más profundas donde las condiciones

pueden ser mucho más estables, lo que podría explicar la mayor abundancia de colémbolos euedáficos en los cultivos.

Otro factor que posiblemente esté influyendo en el cambio de la composición de los colémbolos de las áreas estudiadas puede ser la sustitución de la cubierta vegetal nativa por el cultivo, pues De Izarra & Boo (1980); Mendoza (1995), y Villalobos (1990), plantean que las cubiertas vegetales son determinantes en la abundancia y diversidad de los colémbolos en un ecosistema determinado, aún mayor que la influencia que pueda tener el suelo mineral. Dichos autores consideran que los vegetales no son medios inertes que aportan alimento a la fauna del suelo, si no que existe una interacción dinámica entre todos los elementos que conviven en el suelo. Así las plantas liberan sustancias que podrían estimular o inhibir el desarrollo de hongos y bacterias del suelo que participan en el proceso de la descomposición de la materia orgánica, misma que es aprovechada por los colémbolos como alimento, por lo que de manera indirecta las plantas ayudan a regular las poblaciones de la fauna del suelo (Hopkin 1997; Kilbertus 2001).

También se puede considerar que además de los cambios físicos sufridos en las porciones superiores del suelo en un cultivo, existen también alteraciones químicas en el interior del mismo, inducidos por la nueva cubierta vegetal y por las labores propias del cultivo. Al mismo tiempo, ocurre una reducción en la cantidad de materia orgánica que induce a una perturbación en la composición de los colémbolos de las áreas estudiadas comparadas propiamente con un ambiente estable como ocurre en el bosque.



## Abundancia y densidad de Collembola

Al parecer las variables edáficas como el pH-KCl, la C. E., y los cationes intercambiables, tienen un efecto significativo en el establecimiento de las poblaciones de los colémbolos, como se presentan en estas dos áreas estudiadas, San Salvador y el Bondho, de tal forma que la distribución y abundancia de los colémbolos de las dos áreas no dependen posiblemente de un solo factor, si no de la combinación de varios factores, lo que produce de tal forma una gran gama de variaciones en espacio y tiempo, ocasionando aumentos y bajas en las abundancias y diversidades con mayores o menores grados de agregación en la fauna edáfica.

Los colémbolos forman agregados por alguna de las siguientes razones, porque son atraídos por la condición ideal de humedad (Josse 1971), por la disponibilidad del alimento (Barra & Christiansen 1975) o bien porque el suelo presenta una porosidad de un determinado diámetro (Kamplicher & Hauser 1993). En ambientes difíciles, los colémbolos están obligados a agregarse en sitios donde las fluctuaciones de la temperatura y la humedad son menos extremosas, como puede ser bajo la corteza de los árboles o bajo piedras (Cutz 1998; Lopes & Souza 2001), en grietas o epifitas, en los márgenes de arroyos y en las raíces de los manchones de los pastos (Hertzberg *et al.* 1994). Otra posible razón por la que los colémbolos forman agregados es por la producción de feromonas, que puede estar relacionada con la reproducción en algunas especies (Vegter *et al.* 1988).

Por otra parte, la desecación del suelo es otro proceso gradual que comienza en las áreas en donde se efectúan un proceso de cultivo donde las condiciones edáficas son menos adecuadas para la retención de agua, por lo que la fauna edáfica debe entonces limitarse a ocupar sitios más adecuados gradualmente, con lo que se modifica el patrón de dispersión que presentan hacia una

mayor agregación llevando a las altas densidades, donde cada especie la hace con mayor o menor fuerza dependiendo de su tolerancia a la desecación.

Los estudios realizados en diversos agroecosistemas de varias partes del mundo muestran que la densidad puede variar de acuerdo al grado de perturbación de estos mismos, ocurriendo un decrecimiento en la abundancia y las densidades, por ejemplo Filser *et al.* (2002), muestran que las densidades de *Collembola* disminuyen de 35,456 ind/m<sup>2</sup> a 20,337 ind/m<sup>2</sup> en un periodo de estudio efectuado durante 3 años en áreas experimentales en el sureste de Alemania. Miranda & Palacios-Vargas (1992), mencionan que los colémbolos tienden a disminuir sus densidades por efecto de las prácticas agrícolas.

También se han registrado densidades de 663 a 5,282 ind/m<sup>2</sup> en cultivos de Eslovaquia (Kováč 1994) y 9,700 ind/m<sup>2</sup> en cafetales de Costa Rica (Fraile & Serafino 1978). De 15,097 a 9,641 ind/m<sup>2</sup> en cultivos de trigo en el sureste de Inglaterra (Frampton *et al.* 2001).

Así mismo en el este de Eslovaquia se han registrado densidades que van desde 890 hasta 8,250 ind/m<sup>2</sup> en diferentes agroecosistemas (Kováč 1994; Kováč & Miklisová 1997; Kováč *et al.* 2001).

Las densidades de *Collembola* reportadas para el presente estudio (22, 095 - 4,758 ind/m<sup>2</sup>) son similares a lo que encontró Mendoza *et al.* (1999), en cultivos de maíz en el Estado de Chiapas.

Las abundancias de los Isotómidos que muestra la parcela de San Salvador, se deben a que sus especies han sido reportadas como de gran adaptabilidad a perturbaciones ocasionadas por la actividad agrícola, como menciona Fraile & Serafino (1978) y que aparentemente pueden proliferar en suelos con bajos contenidos de M. O., dicha proliferación puede enmascarar el patrón esperado de mayor abundancia total de colémbolos en la parcela de San Salvador.

En muchos casos el impacto que tiene el incremento de intensidad de uso del suelo sobre la fertilidad, mediante la pérdida de M.O. puede ser medido por los cambios que sufren las comunidades edáficas, en particular de los colémbolos. Por lo que un análisis más profundo del comportamiento de la composición específica, en un gradiente de intensidad de uso del suelo permite identificar especies de colémbolos indicadores de ciertos parámetros dentro los diferentes agroecosistemas. También se puede mencionar que la utilización de colémbolos como indicadores biológicos puede aportar información útil para medir el grado de deterioro de un suelo, sobre todo en los suelos en donde se efectúa la agricultura

La información generada a través de ciertos indicadores biológicos como los colémbolos puede utilizarse para proponer estrategias de manejo y uso del suelo, para su conservación y sustentabilidad como soporte de los diferentes agroecosistemas. Además establecer el tiempo que puede ser usado el suelo para ser cultivado, sin que hubiera deterioro del mismo, puede también ayudar a promover estrategias de manejo sustentable del recurso suelo.

La mayor abundancia de *Proisotoma minuta* (47 %) con respecto al total de la abundancia puede deberse a que es una especie con hábitos alimenticios amplio y que también se le considera una especie pionera de ecosistemas alterados, al parecer la presencia de esta especie está determinada por cierto nivel de pH del suelo y que existe una gran diferencia entre una y otra área. Autores como Choudhuri & Roy (1971) reportan elevadas abundancias de *Proisotoma minuta* dentro un pH ligeramente ácido (6.7) y cercano a la neutralidad (7.0), así como de contenido de materia orgánica muy bajo (1.02 %) en campos de cultivos abandonados en el Oeste de Bengala. Heugens & Van Daele (1984) encontraron que la población de *P. minuta* disminuyó cuando el pH se tornaba más básico (5.6-7.4) en un estudio realizado para comprobar la influencia de ácidos, bases y salinidad sobre poblaciones de *Collembola* y ácaros de un substrato de hojarasca de pino

en Bélgica. Al parecer ocurre lo mismo con *Cryptopygus thermophilus* e *Hypogastrura essa*, especies que se encuentran muy bien representadas en sitios cultivados y con una acumulación de materia orgánica muy pobre (1.25-2.12 %) en el Oeste de Bengala (Hazra & Choudhuri 1983). Chagnon *et al.* 2000, encontraron algo similar también con *Proisotoma minima* e *Hypogastrura* sp., las que están bien representadas en cuestión de abundancia bajo pH que va de 4.20 – 6.32.

Respecto a las especies, para el Bondho tenemos que *Entomobrya triangularis* es la que está mejor representada (35 %), por lo que se encuentra en ecosistemas con pH más básicos. Mendoza (1995) encontró *Entomobrya* sp., a nivel de pH de 7.63, en la reserva de la biosfera el "Cielo", Tamaulipas, lo mismo ocurre con *Pseudosinella octopunctata* y *E. ligata*, a ambas se les puede considerar como pioneras al comenzar a colonizar espacios perturbados como son los agroecosistemas.

De lo anteriormente citado, podemos inferir que de acuerdo al tipo de práctica agrícola efectuado en un área, se establecerán especies con características indicadoras, ya que prácticas convencionales de agricultura o la intensidad de la misma puede llevar a un efecto positivo para algunas especies y otras a un efecto negativo, dependiendo del grado de perturbación del ecosistema alterado (Dittmer & Schrader 2000).

De acuerdo con Jordana (1996) los efectos de las prácticas de cultivos sobre el suelo pueden ser de índole muy diferente, puesto que pueden existir efectos directos sobre las comunidades de la fauna del suelo cuando se utilizan insecticidas, nematicidas o acaricidas, el efecto suele no ser discriminatorio y muere la fauna útil (depredadores y detritívoros), junto con los fitoparásitos, y queda disminuida la diversidad con muy difícil recuperación.

Existen también efectos indirectos. Así como la ruptura de la estructura del suelo con el laboreo aumenta a la larga, también crece la compactación del suelo, disminuye la porosidad y el

tamaño de los poros en el suelo, la fauna tiende a ser más pequeña, menos numerosa y por tanto disminuye la biodiversidad, además de aumentar el encharcamiento con las consiguientes consecuencias para la fauna (Jordana 1996).

### **Porcentaje de permanencia**

En la parcela de San Salvador se observó que no hay una forma de vida particular que predomine, ya que tanto ejemplares hemiedáficos (Isotómidos) como euedáficos (Hypogastrúridos) pueden estar igualmente representados. Además, la probabilidad de encontrar colémbolos en San Salvador es más alta que en la parcela de El Bondho, por lo que es posible tengan una mayor permanencia. Por otro lado posiblemente los hábitos alimenticios de las especies presentes en San Salvador sean mucho más amplios que los que se encuentren en El Bondho, lo que está marcando esta diferencia, ya que mediante observaciones en el microscopio se pudo constatar que en la mayoría de los colémbolos de San Salvador, los contenidos “estomacales” contenían restos de materia vegetal muerta, esporas e hifas de hongos, algas (diatomeas), etc. y ésto no se observa en la parcela de El Bondho (Castaño-Meneses *et al.* 2002). Como varios autores han reportado, cuando una especie tiene hábitos alimenticios muy amplios es posible encontrarla en varios hábitats (Macnamara 1924; Palacios-Vargas *et al.* 2000; Ponge 2000). *Proisotoma minuta*, que predomina por su abundancia, es en la que se observó más variedad de su contenido estomacal por lo que posiblemente ésto marque su predominancia.

Se puede apreciar algo similar con respecto a la parcela de El Bondho que tanto organismos hemiedáficos como euedáficos se encuentran en esta parcela, pero la probabilidad de encontrar los colémbolos en esta parcela es mucho menor que en la parcela anterior. Además la

dominancia en San Salvador es compartida por siete especies, mientras que en El Bondho sólo hay una.

Por lo tanto, los porcentajes de permanencia muy desequilibrados que se observan entre las parcelas estudiadas e inclusive la diferencia de especies dentro cada área, sugieren el grado de inestabilidad del medio para las poblaciones de colémbolos, ya que al parecer sólo se establecen dichas poblaciones cuando las condiciones del medio se vuelven favorables para ellos (sobre todo en cuanto al nivel de pH y conductividad eléctrica (C.E.) que prevalece muy desigual en los distintos sitios estudiados) y cuando las condiciones cambian las poblaciones de colémbolos desaparecen.

#### **Diversidad, equitatividad y dominancia de los colémbolos**

El sitio de San Salvador es el que presentó una diversidad con un valor menor a 2 con respecto a El Bondho. Díaz & Najt (1990) mencionan que valores superiores a 2 del índice de diversidad han sido reportados por varios autores para comunidades de microartrópodos en zonas tropicales. Kováč (1994, 1997, *et al.* 2001) reporta diversidades de colémbolos también superiores a 2 para diferentes tipos de suelos agrícolas en la República Eslovaca. Mendoza *et al.* (1999), encontraron algo similar al estudiar los colémbolos de cultivos de maíz en Chiapas, México. Sabatini *et al.* (1997), también encontraron una gran variación en la diversidad de los colémbolos al realizar un estudio en varias áreas cultivadas para Italia.

Las comparaciones de los valores obtenidos en otros estudios son difíciles por sus diferencias en el método de muestreo y extracción de la fauna.

La diversidad y equitatividad más baja ( $H' = 1.85$  y  $J' = 0.55$ ) están registradas en San Salvador, tales diferencias con respecto al Bondho puede ser explicadas por una parte, en el

incremento en la proporción de individuos de una sola especie (*Proisotoma minuta*) en esta área. Por otra parte la acumulación de M. O. es baja en ambas parcelas comparadas con otros ecosistemas estables. Covarrubias *et al.* (1989), mencionan que la acumulación de M. O. se ve reflejada en una mayor diversidad y altas densidades de colémbolos. Sin embargo, ésto no se observó en el presente trabajo.

Por otra parte la existencia de una composición florística distinta puede también verse reflejada de forma indirecta sobre la fauna de colémbolos (Rapoport 1968).

Por lo general se menciona que la biodiversidad de la fauna del suelo, está relacionada con la cantidad de materia orgánica del suelo; por lo tanto, el aporte en superficie es necesario para que se active toda la red trófica existente en él, pues si dicho aporte disminuye el tamaño de la red y el número de eslabones decrecerá; es decir se reducirá la diversidad. Por tal razón, el estercolado de campos de cultivo o pastos produce un aumento en la biodiversidad. De acuerdo a varios autores la diversidad decrece por disminución de la materia orgánica; pero lo anterior no es el único factor que puede afectar a la diversidad, según Paoletti *et al.* (1992) mencionan que son varios los factores que influyen en el aumento o disminución de la biodiversidad en los campos de cultivo, mismos que se mencionan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Factores que ejercen efecto sobre la biodiversidad (tomado de Paoletti *et al.* 1992)

Mantiene la biodiversidad	Disminuyen la biodiversidad
Mantenimiento de setos	Desaparición de setos y ribazos
Mantenimiento de ribazos	Desaparición o quema de ribazos
Cultivo múltiple (policultivo)	Monocultivo
Rotación de leguminosas	Monosucesión
Estercolado	Mineralización
Cosecha en bandas	Cosecha convencional
Mínimo laboreo	Laboreo convencional
Paisaje con estructura en mosaico	Simplificación paisajista
Agricultura orgánica	Agricultura intensiva
Fertilización orgánica	Fertilización química
Control biológico de plagas	Control químico de plagas
Diversidad de germoplasma	Estandarización

Se puede mencionar que en momentos como el actual, en el que se ve como avanza la aridez y la desertificación en las áreas semiáridas, como en la región del Mezquital, conocer a fondo y estudiar los parámetros de diversidad de los diferentes sistemas de cultivo, para diferentes grupos animales del suelo, y su relación con la productividad en términos económicos, puede ser decisivo para las políticas de conservación y restauración del suelo. Por lo que es muy importante conocer la relación costo/beneficio, un beneficio en donde siempre se considere un factor social de bienestar, en consecuencia de un patrimonio que se deba legar a las futuras generaciones, y que aún no se da.

El número de especies dominantes de colémbolos varía en las diferentes áreas estudiadas. En área con una equitatividad elevada presenta especies abundantes ( $N_1$ ) y muy abundantes ( $N_2$ ). Este es el caso del área de El Bondho ( $N_1=7$  y  $N_2=5$ ). La elevada equitatividad en la parcela de El

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Bondho es el resultado de la presencia de pocas especies presentes en esta área y se ven favorecidas con la presencia del cultivo. Tal puede ser el caso de *Entomobrya triangularis*, que puede ser una especie oportunista, así como *Mexaphorura yosiii*, que al desaparecer especies del bosque primario aumentan su abundancia (Arbea & Jordana 1985).

La baja equitatividad en la parcela de San Salvador es el resultado de la presencia de muchas especies en tal área, que se ven favorecidas con el cultivo, junto con sus factores edáficos; además, la alta proporción de especies raras que están en el área está determinando tal equitatividad, por lo que la alta proporción de las anteriores podría estar indicando un cierto grado de perturbación medio ambiental, por ejemplo: factores antropogénicos relacionados con los suelos cultivados y la producción de semillas en un suelo determinado. Sin embargo, las especies raras dentro de suelos agrícolas representan un valor potencial si las condiciones de las actividades humanas son cambiadas (Hågvar 1984, 1994). La dominancia ( $N_2=3$ ) se da principalmente por *Proisotoma minuta* y *Cryptophygus thermophilus*. Especies que pueden estar relacionadas a cierto tipo de pH alcanzado en los suelos cultivados por los efectos agrícolas. Resultados similares encontraron Heungens & Van Daele (1984) con *Proisotoma minuta* en Bélgica, al estudiar la influencia de algunos substratos ácidos, bases y salinos sobre las poblaciones de ácaros y colémbolos de hojarasca de pino. Lo mismo reporta Mateos (1988) con *Lepidocyrtus lanuginosus* e *Isotoma notabilis* al estudiar tres tipos de suelos de encinar montano del Montseny en Barcelona.

### **Coefficiente de similitud de Sørensen**

La similitud faunística según los resultados obtenidos entre las comunidades de las parcelas de San Salvador y El Bondho, se debe a las alteraciones inducidas al suelo por las labores propias a las que se somete el cultivo, lo que la hace homogénea e impide su estratificación, además de hacer poco constante el aporte de energía al suelo, lo que no permite la diversificación de las comunidades de colémbolos en las áreas estudiadas (principalmente en el área de El Bondho). Otro aspecto es lo reducido de material orgánico en descomposición como la hojarasca en las zonas de cultivo, lo que puede incidir en la alta semejanza entre los biotopos estudiados. Mendoza (1995) y De Izarra & Boo (1980) mencionan que los ambientes perturbados tienden a presentar una semejanza faunística rotunda, comparados con otros ecosistemas estables. La primera al comparar nueve asociaciones vegetacionales en la reserva de la biosfera el "Cielo" en Tamaulipas y los segundos tres asociaciones vegetales de San Martín de los Andes en Argentina. Cutz (1998) reporta algo similar a lo anterior al comparar las comunidades de cuatro asociaciones vegetales para el ejido forestal de Noh-Bec, Quintana Roo, México.

De esto se infiere que las alteraciones inducidas al sistema suelo por las labores agrícolas son perjudiciales ya que la semejanza o la probabilidad de encontrar una especie entre los biotopos de la misma área con cierto grado de alteración es menor. También se producen modificaciones en el ambiente e implican cambios al sustrato edáfico y a la fauna asociada al mismo; tales como cambios en la densidad, composición específica y por lo tanto a las similitudes. Efectos que serán más marcados cuando mayor sea el impacto de la práctica sobre el ambiente (Miranda & Palacios-Vargas 1992). Por lo que se menciona que en un bosque puede haber una mayor "estratificación" del sistema suelo, por existir una constancia en la entrada de energía, lo que posibilita una mayor estabilidad del ecosistema, por lo siguiente también permite una amplia variedad de poblaciones.

## Análisis edafológicos

En la comparación de los resultados del pH-KCl con la C. E. (conductividad eléctrica) se hace notorio que en el mes de diciembre y octubre cuando la alcalinidad del suelo se debe a los grupos OH<sup>-</sup>, mientras que en los meses de febrero, abril, junio y agosto se debe a las sales básicas en la solución del suelo (Aguirre 1993).

Con respecto al porcentaje de materia orgánica en el suelo de El Bondho es mayor para el mes de diciembre contrario a lo que se esperaba, debido a que un suelo regado con agua residual tiene valores altos de materia orgánica, por el aporte continuo; el abono periódico con estiércol de la parcela regada con aguas de manantial, es lo que provocó concentraciones similares a las presentadas en la parcela de San Salvador (Fig. 14).

Los elevados porcentajes de materia orgánica se observaron en los meses de diciembre, febrero, abril y octubre los que corresponden a los meses de la temporada de sequía y los porcentajes más bajos se observan en la época de lluvias que corresponden a los meses de junio y agosto; lo que viene ser normal, ya que en junio y agosto los cultivos obtienen el agua de la lluvia, y en el caso del terreno regado con agua de manantial no se abona, porque es el tiempo de mayor crecimiento de las cosechas.

La concentración de los cationes intercambiables tienen la misma tendencia que el pH y la C. E., lo que sugiere que el pH más básico del suelo regado con agua de manantial se debe a la acumulación de sales. Se puede decir que la relación de los cationes es  $Mg^{++} > Ca^{++} > K^{+} > Na^{+}$  (Fig. 11 y 12), lo que indica proporciones normales para un suelo derivado de material calcáreo (Bonneau 1987). Por lo que ninguna de las dos parcelas estudiadas presentaron valores tóxicos de sodio; ya que los valores encontrados en las mismas fueron siempre menores de  $6 \text{ cmol}^{(+)} \text{ Kg}^{-1}$ .

Con respecto a la porosidad ambas parcelas presentaron una similitud durante el estudio, por lo que los valores se encuentran cercanos al 50 % considerado por Vreeken-Buijs *et al.*, (1998) como óptimo para el desarrollo de los microartrópodos.

De lo anteriormente mencionado podemos deducir que prácticamente lo que estaría afectando negativa o positivamente (Cuadro 3 del apéndice I) en algunos casos a la composición y abundancia de las poblaciones de los colémbolos, son el pH ligeramente ácido en una parcela y el pH básico en la otra parcela (Fig. 10), así como la conductividad eléctrica dada en este caso por las diferencias entre los cationes intercambiables (principalmente  $Mg^{++}$  y  $Na^{+}$ ) encontradas en las diferentes parcelas, de acuerdo con Santamaría & Ferrera-Cerrato (2002) reportan que existe un cambio notorio en las poblaciones de lombrices cuando evalúan diferentes residuos orgánicos, al encontrar amontonamientos de los individuos, probablemente para protegerse cuando el medio ya no es favorable, por cambios elevados en el pH y la C. E.

La intensificación sobre el uso de la tierra al sustituir la labor de labranza manual por la labranza mecanizada, la utilización de abonos químicos, insecticidas y agroquímicos en general puede llevar a cambios de los factores edáficos (C.E., pH, M.O., porosidad, salinidad, etc.) muy notorios que influyen negativamente en toda la fauna existente en un suelo determinado (Giller *et al.* 1997, Zérega 1993; Zérega & Hernández 1997).

De cierta manera cuando las áreas agrícolas son sometidas a un manejo intensivo, las prácticas de cultivo afectan las actividades de las poblaciones de los organismos existentes en ellos, el ciclo de nutrimentos y se altera en cierto grado la estructura del suelo, así como casi todas las propiedades físicas y químicas del suelo (Kladivko 2001; López-Mtz *et al.* 2001).

## CONCLUSIONES

5,967 individuos fueron colectados durante el estudio, que representan 31 especies de las cuales 19 son nuevos registros para el estado de Hidalgo.

A nivel de familia, Isotomidae presentó mayor abundancia relativa con respecto al total de las recolectadas.

Las especies dominantes e importantes por su abundancia y frecuencia fueron: *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus*, *Xenylla grisea* e *Hypogastrura essa* respectivamente. Es importante resaltar que estas cuatro especies sólo se encontraron en la parcela de San Salvador.

De acuerdo a los datos obtenidos en la estructura de las comunidades de los colémbolos se observaron variaciones en el tiempo y espacio, explicados de cierta manera por la influencia de ciertos factores bióticos (Plantas de cultivo) y abióticos (pH, C. E., M. O., Mg<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> intercambiables) sobre las especies presentes.

La parcela de San Salvador presentó una mayor densidad, las comunidades de colémbolos variaron entre los meses y biotopos, observándose en los meses de abril y junio un número mayor de individuos.

La diversidad y equitatividad fueron mayores en la parcela de El Bondho a pesar de tener una riqueza específica mucho más baja que la de San Salvador. Contrario a lo que ocurrió en la parcela de San Salvador con la diversidad y equitatividad que fueron bajas a pesar de tener una mayor riqueza específica; tal comportamiento se debe a la presencia de cuatro especies muy dominantes (*Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus*, *Xenylla grisea* e *Hypogastrura essa*).

Se obtuvo una diferencia significativa entre los índices de diversidad con respecto al tipo de riego al evaluar las parcelas estudiadas, utilizando la prueba de "t".

El coeficiente de similitud comprobó que existe una alteración en la composición de las comunidades de Collembola estudiadas; lo anterior se observa cuando se comparan las similitudes obtenidas (70%) en la parcela de San Salvador Hidalgo, contra similitudes de bibliografía en sistemas naturales (90%).

De acuerdo con el análisis ANOVA de dos vías las especies *Xenylla grisea*, *Folsomides parvulus*, *Cryptopygus ca. benhami* y *Pseudosinella octopunctata*, son las que mostraron diferencias estadísticas por el tipo de riego (localidad), mientras que *Mesaphorura yosiii*, *Lepidocyrtus violaceus*, *Pseudosinella violenta*, *Sphaeridia serrata*, *Megalothorax incertis* y *M. minimus* lo hacen por fecha de muestreo. Al interactuar tanto el tipo de riego como la fecha de muestreo se observó una clara diferencia significativa del comportamiento de las poblaciones de *Mesaphorura krausbaueri*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus*, *Isotomurus bimus*, *Lepidocyrtus pallidus* y *Sminthurinus atrapallidus*.

De lo anterior se puede concretar que la composición estructural de las comunidades de Collembola, la riqueza específica, equitatividad, dominancia, la densidad y abundancia relativa fueron diferentes entre ambas parcelas, diferencias que fueron dadas principalmente por los altos valores de pH, conductividad eléctrica y de los cationes intercambiables (principalmente por el  $Mg^{++}$  y  $Na^{+}$ ) presentes entre una y otra parcela, determinando el tipo de comportamiento de las comunidades estudiadas, así como cierto efecto negativo por la intensidad de uso de suelo (sin embargo, esto no ocurre con la porosidad y la materia orgánica presente en dicho estudio).

Se comprobaron las diferencias entre las composiciones específicas de colémbolos entre las parcelas con diferente tipo de riego, sugiriendo la presencia de especies (*Hypogastrura essa*, *Xenylla grisea*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus ca. benhami* y *C. thermophylus*) que pueden ser sensibles al aumento de los parámetros evaluados, por consiguiente para identificar estas especies

se necesita un análisis más profundo de los patrones de abundancia que presenta la comunidad en las distintas parcelas.

Los parámetros edáficos como el pH, la C. E., M. O., concentración de cationes intercambiables ( $Mg^{++}$   $Na^{+}$ ) afectan algunas veces negativamente y otras positivamente a la composición y abundancia de las poblaciones de los colémbolos. Así se concluye que *Xenilla grisea*, *Mesaphorura krausbaueri*, *Proisotoma minuta*, *Cryptopygus thermophylus* son las especies que se pueden considerar como indicadoras de ambientes ácidos, o especies acidófilas, ya que tuvieron una correlación negativa con respecto al pH, mientras que las especies como *Entomobrya triangularis*, *Lepidocyrtus ca. violaceus* y *Pseudosinella octopunctata* demostraron afinidad a la alcalinidad, por lo tanto se consideran como especies indicadoras de medios alcalinos como lo puede ser El Bondho. La mayoría de las correlaciones resultaron negativas para el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica,  $Mg^{++}$  y  $Na^{+}$  intercambiables, mientras que con el  $Ca^{+}$  y el  $K^{+}$ , no existen correlación alguna (Cuadro 3 del apéndice I).

Como punto final se propone la existencia de un gran potencial para el uso de colémbolos como indicadores de la calidad del suelo, con miras a proponer estrategias de manejo y sustentabilidad del recurso suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, G. A. 1993. Química de los suelos salinos y sódicos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México, 130 pp.
- Álvarez, T., G. K. Frampton & D. Goulson. 1997. Population dynamics of epigeic Collembola in arable fields: the importance of hedgerow proximity and crop type. *Pedobiologia*, 41:110-114.
- Allison, L. E. 1993. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Limusa, México. 172 pp.
- Andrén, O. & J. Lagerlöf. 1983. Soil fauna (microarthropods, enchytraids, nematodes) in Swedish agricultural cropping system. *Acta Agrícola Scandynava.*, 33: 33-32.
- Andrén, O. & J. Schnürer. 1985. Barley straw decomposition with varied levels of microbial grazing by *Folsomia fimetaria* (L.) (Collembola, Isotomidae). *Oecologia*, 68:57-62.
- Arbea, J. I. & R. Jordana. 1985. Efecto de una repoblación con coníferas en un robleal de Navarra sobre los colémbolos edáficos. *Boletim da Sociedade Portuguesa Entomologica*, (Sup. I) 2:227-288.
- Axelsen, J. A., & K. T. Kristensen. 2000. Collembola and mites in plots fertilized with different types of manure. *Pedobiologia*, 44:556-566.
- Barra, J. A. & K. A. Christiansen. 1975. Experimental study of aggregation during the development of *Pseudosinella impediens* (Collembola: Entomobryidae). *Pedobiologia*, 15: 343-347.
- Bachelier, G. 1978. La faune des sols son écologie et son action. Initiations documentations techniques. No. 38 *ORSTOM*, Paris, France. 685 pp.



- Battigelli, J. P. & V. G. Marshall. 1993. Relations between soil fauna and soil pollutants. Proceedings of the forest ecosystem dynamics workshop., FRDA II report 210. Government of Canada, Province of British Columbia, pp. 31-34.
- Bengtsson, G., A. Erlandsson, S. Rundgren. 1988. Fungal odour attracts soil Collembola. *Soil Biology and Biochemistry*, 20: 25-30.
- Block, W., S. R. Young, E. M. Conradi-Larse & L. Somme. 1978. Cold tolerance of two Antarctic terrestrial arthropods. *Separatum experientia*, 34:1166-1167.
- Bonneau, M. 1987. Edafologia. Masson, Barcelona. 441 pp.
- Butcher. J. W., R. Snider & R. J. Snider. 1971. Bioecology of edaphic Collembola and Acarina. *Annual Review of Entomology*, 16: 249-288.
- Cancela da Fonseca, J. P. 1980. Le concept de diversité le chevauchement des niches écologiques et l'organisation des systèmes écologiques. *Acta Ecologica/Ecologia Generalis*, 1 (3) : 293-305.
- Cassagnau, P. 1961. Écologie du sol dans les Pyrénées centrales (Les biocénoses des Collemboles). Actualités de géobiologie et d'écologie. Ed. Hermann. Paris. 235 pp.
- Castaño-Meneses, G., J. G. Palacios-Vargas & L. Cutz Pool. 2002. Feeding habits of Collembola and their ecological niche. Pp. 28. Department of Evolutionary Biology (Ed.) Abstracts of 6<sup>th</sup> International seminar on Apterygota. Siena, Italy.
- Chagnon, M., C. Hébert & D. Paré. 2000. Community structures of Collembola in sugar maple forests: relations to humus type and seasonal trends. *Pedobiologia*, 44:148-174.
- Cheng, K. & R. H. Bray. 1951. Two specific methods of determining Calcium and Magnesium in soil. *Annals. Chemistry*, 25:655-659.

- Choudhuri, D. K. & S. Roy. 1971. The Collembola (Insecta) of the uncultivated fields in Burdwan distric (West Bengal), with remarks on correlation between monthly population and certain soil factors. *Proc. Zool. Soc. Calcuta*, 24:33-39.
- Christiansen, K. A. 1964. Bionomics of Collembola. *Annual Review Entomology*, 9: 147-178.
- Christiansen, K. A. 1992. Springtails. *The Kansas School Naturalist*, 39 (1):1-16.
- Christiansen, K. & P. Bellinger. 1980-81. The Collembola of North America North of the Rio Grande, a taxonomical analysis. Grinnell College, Grinnel, Iowa, USA. 1322 pp.
- Christiansen, K. A & P. Bellinger. 1988. Marine Litoral Collembola of North and Central America. *Bulletin of Marine Science*, 42 (2):215-245.
- Christiansen, K. A. & P. Bellinger. 1996. Cave Arrhopalites: new to science: *Journal of cave and karst studies*, 58 (3):168-180.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 1988. Impacto del riego con aguas residuales en las aguas subterráneas del Valle del Mezquital Hidalgo. Reporte técnico. 86 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), 1995. Impacto del riego con aguas residuales en las aguas subterráneas del Valle del Mezquital, Hidalgo. Reporte 58 pp.
- Contreras, V. R. 1998. Clasificación e impacto por el riego con aguas residuales de algunos suelos del DDR 063, Estado de Hidalgo. Tesis de profesional Biología. Fac. de Ciencias, UNAM. México, 104 pp.
- Covarrubias, R., C. Contreras & I. Mellado. 1989. Dinámica de los gremios de microartrópodos bajo *Laretia acaulis*. *Acta Entomologica Chilena*, 15: 211-224.
- Culik, M. P., J. L. de Souza & J. A. Ventura. 2000. Collembola (Arthropoda: Hexapoda) biodiversity in tropical agricultural environments of Espirito Santo, Brasil. Abstracts of International Congress of Entomology, Gazzoni, D L. (Ed) , Foz do Iguassu, pp. 122.

- Cutz, P. L. Q. 1998. Estudio comparativo de la fauna colembológica edáfica (Insecta: Collembola) del Ejido forestal de Noh-Bec, Quintana Roo, México. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico de Chetumal. 75 pp.
- Cutz, P. L. Q. 2001. Colémbolos de dos agroecosistemas en Hidalgo, México. Memorias del XXXVI Congreso Nacional de Entomología. Ed. S. G. Stanford Camargo, A. Morales Moreno, J. Padilla Ramírez & M. Ibarra González. Santiago de Queretaro, Qro. pp. 54
- Cutz, P. L. Q. 2002. Colémbolos de suelos agrícolas y forestales en el Estado de Hidalgo, México. *Entomología Mexicana*, 1:188-191.
- De Izarra, D. C. & R. Boo. 1980. Los efectos de una reforestación con plantas introducidas sobre los microartrópodos del suelo. *Ecología Argentina*, 5:59-70.
- DDR 063. 1996. Características generales de los distritos de riego 003-Tula y 100-Alpayucan De. DR03, Mixquiahuala. 25 pp.
- Delgadillo Reyes, J. 2000. Contribución al conocimiento de los colémbolos (Hexapoda: Collembola) del centro ecológico de formación Omeyocan, Atizapán de Zaragoza, Estado de México. Tesis Profesional, UNAM-Iztacala. 64 pp.
- Díaz, A. M. 1989. Composición y estructura de la comunidad de colémbolos (Insecta) en el Páramo de Piedras Blancas (Mérida-Venezuela). Univ. de los Andes Facultad de Ciencias Depto. de Biología. Ecología Animal. Trabajo de promoción. 182 pp.
- Díaz, A. & J. Najt. 1990. Étude des peuplements de microarthropodes dans deux Páramos de l'État de Mérida (Venezuela). II Structure des peuplements. *Revue d'Écologie et Biologie du Sol*, 27(3):331-340.
- Díaz, A. M., V. González & J. G. Palacios-Vargas. 1996. Distribución geográfica y ecológica de colémbolos (Insecta: Collembola) registrados para Cuba. *Revista Biología*, 10:9-20.

- Dindal, D. L. (ed). 1990. *Soil biology guide*. Wiley Interscience Publication. New York. 1349 pp.
- Dittmer, S. & S. Schrader. 2000. Long-term effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil. *Pedobiologia*, 44:527-538.
- Dunger, W. 1986. Observations on the ecological behaviour of some species of the *Tullbergia krausbaueri* group. 2<sup>nd</sup>. International Seminar on Apterygota. Ed. R. Dalai. Siena, Italy. 111-115.
- Filser, J., K. H. Mebes, K. Winter, A. Lang & C. Kampichler. 2002. Long-term dynamics and interrelationships of soil Collembola and microorganism in an arable landscape following land use change. *Geoderma*, 105:201-221.
- Fjellberg, A. 1985. Recent advances and future needs in the study of Collembola biology and systematics. *Quaestiones Entomologicae*, 21:559-570.
- Frampton, G. K. 1994. Sampling to detect effects of pesticides on epigeal Collembola. *Aspects of Applied Biology*, 37: 121-130.
- Frampton, G. K. 1999. Spatial variation in non-target effects of the insecticides Chlorpyrifos, Cypermethrin and Pirimicarb on Collembola in winter wheat. *Pesticide Science*, 55: 875-886.
- Frampton, G. K. 2000. Recovery responses of soil surface Collembola after spatial and temporal changes in long-term regimes of pesticide use. *Pedobiologia*, 44: 489-501.
- Frampton, G. K. & S. D. Wratten. 2000. Effects of Benzimidazole and Triazole fungicide use on epigeic species of Collembola in wheat. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 46: 64-72.
- Frampton, G. K., P. J. Van den Brink & S. D. Wratten. 2001. Diel activity patterns in an arable Collembolan community. *Applied Soil Ecology*, 17: 63-80.

- Fraille, M. J. & A. Serafino. 1978. Variaciones mensuales en la densidad de microartrópodos edáficos en un cafetal de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 26:291-301.
- Giller, K. E., M. H. Bease, P. Lavalle, A. M. N. Izac & M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6:3-16.
- Gisin, H. 1943. Okologie und lebensgemeinschaften der Collembolen im Schweizerischen exkursionsgebiet basels. *Revue Suisse De Zoologie*, 50:131-224.
- Gómez-Anaya, J. A. 1998. Ecología de Collembola (Hexapoda: Apterygota) de Chamela, Jalisco, México. Tesis de Maestría, Fac. de Ciencias UNAM. 97 pp.
- González, V., M. Díaz & J. G. Palacios-Vargas. 1997. Los colémbolos asociados al cultivo de la caña de Azúcar. *Boletín de Sociedad Mexicana de Entomología*, 15:43-49.
- Hågvar, S. 1984. Effects of liming and artificial acid rain on Collembola and Protura in coniferous forest. *Pedobiologia*, 27:341-354.
- Hågvar, S. 1994. Log-normal distribution of dominance as an indicator of stressed soil microarthropod communities. *Acta Zoologica Fennica*, 195:71-80.
- Hazra, A. K. & D. K. Choudhuri. 1983. A study of Collembola communities in cultivated and uncultivated sites of West Bengal in relation to three major soil factors. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 20(3):385-401.
- Hermosilla, W & L. Rubio. 1976. Structure des populations de Collemboles Poduromorphes dans une colline de la Cordillère de la Côte Chilienne. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 13 (3): 477-489.
- Hertzberg, K., H. P. Leeinaas, & R. A. Ims. 1994. Patterns of abundance and demography; Collembola in a habitat patch gradient. *Ecography*, 17; 63-70.

- Heungens, A. & E. Van Daele. 1984. The influence of some acids, bases and salts on the mite and Collembola population of a pine litter substrate. *Pedobiologia*, 27:299-311.
- Hopkin, S. P. 1990. Critical concentrations, pathways of detoxification and cellular ecotoxicology of metals in terrestrial arthropods. *Functional Ecology*, 4: 321-327.
- Hopkin, S. P. 1993. Ecological implications of 95% protection levels for metals in soil. *Oikos*, 66: 137-141.
- Hopkin, S. P. 1997. *Biology of the springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press. 330 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1992. Síntesis geográfica del Estado de Hidalgo. 336 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1998. Cuaderno Estadístico Municipal, San Salvador Estado de Hidalgo. 143 pp.
- Jackson, L. M. 1982. *Análisis Químico de Suelos*. Omega. Barcelona. 86 pp.
- Joose, E. N. G. 1971. Ecological aspects of aggregation in Collembola. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 8(1): 91-97.
- Jordana, R. 1996. Ecología y aspectos funcionales de la biodiversidad en el suelo. *II Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*. Ed. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Pamplona-Iruña, España. 225-240.
- Jordana, R. & J. I. Arbea. 1989. Clave de identificación de los géneros de colémbolos de España (Insecta: Collembola). *Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra*, 19:1-16.
- Kamplichler, C. & M. Hauser. 1993. Roughness of soil pore surface and its effect on available habitat space of microarthropods. *Geoderma*, 56: 223-232.

- Kilbertus, G. 2001. El suelo, medio biológico a proteger. *Revista de la Sociedad Española de Científicos*, 3: 1-5.
- Kladivko, E.J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research*, 61: 61-76.
- Kováč, L. 1994. Effects of soil type on Collembolan communities in agroecosystems. *Acta Zoologica Fennica*, 195:89-93.
- Kováč L & D. Miklisová. 1997. Collembolan communities (Hexapoda, Collembola) in arable soils of East Slovakia. *Pedobiología*, 41:62-68.
- Kováč L., P. L'uptáček, D. Miklisová & R. Matí. 2001. Soil Oribatida and Collembola communities across a land depression in an arable field. *European Journal of Soil Biology*, 37: 285-289.
- Lopes, R. & M. Souza. 2001. Biodiversity under rocks: the role of microhabitats in structuring invertebrate communities in Brazilian outcrops. *Biodiversity and Conservation*, 10: 1171-1183.
- López-Mtz, J. D., A. Díaz, E. Martínez & R. D. Valdez. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra*, 19: 293-299.
- Ludwig, J. A. & J. F. Reynolds. 1988. Statistical ecology a primer on methods and computing. Ed. Wiley. USA. 338 pp.
- Luciáñez, M. J. & J. C. Simón. 1991. Estudio de la variación estacional de la colembofauna en suelos de alta montaña en la Sierra de Guadarrama (Madrid). *Miscellanea Zoologica*, 15:103-113.
- Macnamara, C. 1924. The food of Collembola. *The Canadian Entomologist*, 56: 99-105.

- Mateos, E. 1988. Ecología de los colémbolos (Collembola; Insecta) edáficos del encinar montano del Montseny (Barcelona). *Miscellanea Zoologica*, 12:97-107.
- Mateos, E. 1991. Diversidad de las comunidades de colémbolos en suelos de encinar mediterráneo. *Studia Oecologica*, 8: 219-231
- Mendoza, A. S. 1995. Los Insectos colémbolos y la sucesión secundaria del Bosque Mesófilo de la reserva de la Biósfera "El Cielo" Tamaulipas. Tesis Profesional. UNAM-Iztacala. 99 pp.
- Mendoza A. S., F. J. Villalobos, L. Ruiz Montoya & A. E. Castro R. 1999. Patrones ecológicos de los colémbolos en el cultivo de maíz en Balún canal, Chiapas, México. *Acta Zoologica Mexicana*, 78: 83-101.
- Miranda, A. 1992. Estudio ecológico de los colémbolos del suelo de dos zonas del Municipio de Texcoco. Estado de México. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias UNAM. 85 pp.
- Miranda, A. & J. G. Palacios-Vargas. 1992. Estudio comparativo de las comunidades de los colémbolos edáficos de bosque de *Abies religiosa* y cultivo de haba (*Vicia faba*). *Agrociencia*, 3(4):7-18.
- Morales, R. J. 1982. Estudios edafológicos en el Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, México. Tesis Profesional Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 149 pp.
- Nakamura, Y., Matsuzaki, I & Itakura, J. 1992. Effect of grazing by *Sinella curviseta* (Collembola) on *Fusarium oxysporum* f. sp. *curvumerinum* causing cucumber disease. *Pedobiologia*, 36:168-171.
- Najt, J. 1976. Algunos conceptos sobre biología de los suelos como ciencia de nuestro tiempo. *IIJA. Supl.*, 29: 97-105.
- Narro, F. E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Trillas, México, pp 10-13.



- Palacios-Vargas, J. G. 1979. Los colémbolos (Insecta: Apterygota) de suelo y hojarasca de epifitas. *Folia Entomologica Mexicana*, 42: 41-42.
- Palacios-Vargas, J. G. 1981. Collembola asociados a *Tillandsia* (Bromeliaceae) en el Derrame Lávico del Chichinautzin. Morelos, México. *Southwestern Entomologist*, 6: 87-98.
- Palacios-Vargas, J. G. 1983. Catálogo de los Collembola mexicanos. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 27: 61-76.
- Palacios-Vargas, J. G. 1990. Manuales y guías para el estudio de microartrópodos. I. Diagnosis y claves para determinar las familias de los Collembola de la Región Neotropical. Programa: Ecología de microartrópodos. Depto. de Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. 15 pp.
- Palacios-Vargas, J. G. 1991. Manuales y guías para el estudio de microartrópodos. II Introducción a los insectos sin alas. (Protura, Diplura, Collembola, Thysanura). Región Neotropical. Programa: Ecología de Microartrópodos, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. 15 pp.
- Palacios-Vargas, J. G. 1994a. Problemas en la taxonomía de algunos artrópodos: Hexápoda (Apterygota) pp. 397-417. In Llorente Bousquets J. & I. Luna. Ediciones Científicas Universitarias. Texto Científico Universitario.
- Palacios-Vargas, J. G. 1994b. Biodiversidad de microartrópodos edáficos y cavernícolas de México. Primeras Jornadas de Biología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara. México. pp. 6-15.
- Palacios-Vargas, J. G. 1996. Los Colémbolos, seres diminutos con impacto ecológico. Intercambio académico, Universidad Nacional Autónoma de México, *Boletín informativo*, 72: 9.

- Palacios-Vargas, J. G. 1997. Catálogo de los Collembola de México. Coordinación de Servicios Editoriales, Facultad de Ciencias, UNAM. 102 pp.
- Palacios-Vargas, J. G. 2000. Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas*, 5 (29): 12-15.
- Palacios-Vargas, J. G. 2002. Los "Insectos" (Hexapoda: Collembola) sin alas en las cuevas del mundo. *Mundos Subterráneos*, 13: 83-91.
- Palacios-Vargas, J. G. & M. L. Castillo. 1992. Sucesión ecológica de microartópodos dentro de troncos en descomposición. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología*, 11: 23-30.
- Palacios-Vargas & J. A. Gómez-Anaya. 1991. Los colémbolos y su relación con los hongos. 99-114. Memorias del I Simposio Nacional sobre la interacción Insecto-Hongo. *Sociedad Mexicana de Entomología*, Ed. Navarrete-Heredia, J. L. & G. A. Quiroz-Rocha. Veracruz, Veracruz.
- Palacios-Vargas J. G. & J. A. Gómez-Anaya. 1993. Los Collembola (Hexapoda: Apterygota) de Chamela, Jalisco, México (Distribución ecológica y claves). *Folia Entomologica Mexicana*, 89: 1-34.
- Palacios-Vargas, J. G. & J. A. Gómez-Anaya. 1994. Lista actualizada de colémbolos micetófilos de México (Hexápoda: Entognatha). *Folia Entomologica Mexicana*, 92: 21-30.
- Palacios-Vargas, J. G. & D. Zeppelini. 1995. A new species of *Troglobius* (Collembola; Paronellidae) from Brasil. *International Journal Speleology*, 23 (3-4): 173-177.
- Palacios-Vargas, J. G., G. Castaño-Meneses & B. E. Mejía-Recamier. 2000. Collembola. 249-281. In Llorente Bousquets J., E. González Soriano & N. Papavero (Eds). *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento II*. Ed. UNAM-CONABIO.

- Paoletti, M. G., D. Pimentel, B. R. Stinner & D. Stinner. 1992. Agroecosystem biodiversity: matching production and conservation biology. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 40:3-23.
- Petersen, H. 1994. A review of Collembolan ecology in ecosystem context. *Acta Zoológica Fennica*, 195:111-118.
- Ponge, J. F. 1983. Les collemboles, indicateurs du type d'humus en milieu forestier. Resultats obtenus au Sud de Paris. *Acta Oecológica, Oecologia Generalis*, 4 (4):359-374.
- Ponge, J. F. 1991. Food resources and diets of soil animals in a small area of Scots pine litter. *Geoderma*, 49:33-62.
- Ponge, J. F. 1993. Biocenoses of Collembola in atlantic temperate grass-woodland ecosystems. *Pedobiologia*, 37: 223-244.
- Ponge, J. F. 2000. Vertical distribution of Collembola (Hexapoda) and their food resources in organic horizons of beech forests. *Biology and Fertility of Soils*, 32: 508-522.
- Ponge, J. F. & M. J. Charpentié. 1981. Étude des relations microflore-microfaune: expériences sur *Pseudosinella alba* (Pakard). Collembole mycophage. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 18: 29-302.
- Ponge, J. F. & B. Prat. 1982. Les indicateurs du mode d'humification dans les peuplements résineux, feuillus et mélanges: résultats obtenus en forêt d'Orléans. *Revue d'Ecologie et Biologie du Sol*, 19 (2): 237-250.
- Ponge, J. F., P. Arpin & G. Vannier. 1993. Collembolan reponse to experimental perturbations of litter supply in temperate forest ecosystem. *European Journal of Soil Biology*, 29 (3-4): 141- 153.

- Pozo, J. 1986. Ecological factors affecting Collembola populations. Ordination of communities. *Revue d' Ecologie et Biologie du sol*, 23: 299-311
- Rapoport, E. H. 1968. La fauna edáfica y sus aplicaciones en la caracterización de los suelos. pp. 155-169. in: *Progressos em Biodinamica e Productividade do solo*. II Cong. Lat. Amer. Biologia do solo, Sta Maria, Brasil.
- Rapoport, E. H & J. Najt. 1966. Ecología de los micrartrópodos en el suelo Gley y Solonchak de Bahía Blanca, Argentina. pp. 522-546. *Actas Primer Coloq. Latinoamer. Biol. Suelo*. UNESCO. Montevideo.
- Rapoport, E. H. & L. Sánchez. 1963. On the epincuston or the supraquatic fauna. *Oikos*, 14 (1): 96-109.
- Reddy, M. V. & J. R. B. Alfred. 1989. Seasonal abundance of microarthropods of needle litter during decomposition in a pine plantation in relation to litter mass-loss, moisture and temperature. *Journal of Soil Biology and Ecology*, 9: 104-117.
- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos (SARH). 1993. Actualización del estudio geohidrológico del Valle del Mezquital, Geocalli, S.A. pp. 161-165.
- Sabatini, M. A., L. Rebecchi, C. Cappi, R. Bertolani & B. Fratello. 1997. Long-term effects of three different continuous tillage practices on Collembola populations. *Pedobiologia*, 41:185-193.
- Santamaría, R. S. & R. Ferrera-Cerrato. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) en diferentes residuos orgánicos. *Terra*, 20: 303-310.
- Santos, P. F. & W. G. Whitford. 1981. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. *Ecology*, 62: 654-663.

- Siebe, C., P. Palacios & A. Cortés. 1997. Variabilidad y distribución espaciales de algunos parámetros físicos y químicos del suelo en el Distrito del riego 03. Estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(1): 62-67.
- StatSoft. Inc. 1995. Statistical user guide. Complete Statistical System StatSoft. Oklahoma.
- Takeda, H. 1987. Dynamics and maintenance of Collembolan community structure in a forest soil system. *Researches on Population Ecology*, 29:291-346.
- Therrien, F., M. Chagnon & C. Hébert. 1999. Biodiversity of Collembola in sugar maple (*Aceraceae*) forests. *The Canadian Entomologist*, 131 (5): 613-628.
- Thibaud, J. M. 1968a. Contribution à l'action des facteurs température et humidité sur la durée du développement embryonnaire des Collembes Hypogastruridae. *Revue d'Écologie et Biologie du Sol*, 5: 55-62.
- Thibaud, J. M. 1968b. Contribution à l'étude de l'action des facteurs température et humidité sur la durée du développement embryonnaire et de l'intermue de l'adulte chez les collembes Hypogastruridae. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 5: 265-281.
- Thibaud, J. M. 1975. Données sur l'intermue et les températures léthales chez quelques espèces d'insectes Collembes Poduromorphes. *Annales de Spéologie*, 30: 187-194.
- Thibaud, J. M. 1986. Essai sur une classification biologique et écophysologique des collembes (Insectes) cavernicoles. *Compte Rendu Hebdomadaire des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, Série III*, 303: 67-67.
- Thibaud, J. M. 1991. Les Collembes des Petites Antilles. V. Considérations biogéographiques et écophysologique sur les Collembes Poduromorphes. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 28: 91-111.

- Thibaud, J. M. 1993. Les collemboles des petites antilles. VI. Interstitiels terrestres et marins. *Revue Française d'Entomologie*, 15 (2): 69-80.
- Thibaud, J. M. 1994. Les Collemboles interstitiels terrestres de l'île de Cuba, avec la description de deux espèces nouvelles. *Revue Française d'Entomologie*, 16 (3): 93-98.
- Thibaud, J. M. & J. Najt. 1993. Les collemboles (Insecta) de l'Atoll de Fangataufa. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*, Paris serie 4-15 (1-4): 95-105.
- Thibaud, J. M. & G. Vannier, 1986. Caracterisations biologique et ecophysiologique des Insectes collemboles cavernicoles. 129-137. In R. Dallai (Ed). *Second International Seminar on Apterygota*. Siena, Italy.
- Vegter, J. J., E. N. G. Joosse., & G. Ernsting. 1988. Community structure, distribution and population dynamics of Entomobryidae (Collembola). *Journal of Animal Ecology*, 57: 971-981.
- Villalobos, F. J. 1990. Estudio preliminar sobre la abundancia y diversidad de los Collembola (Apterygota) de un bosque tropical del noreste de México. *Folia Entomologica Mexicana*, 80: 5-29.
- Vreeken-Buijs, M., J. Hassink & L. Brussaard. 1998. Relationships of soil microarthropod biomass with organic matter and pore size distribution in soils under different land use. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(1):97-106.
- Walkey, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63: 251-263.
- Zanin, I., J. E. Araya & C. Valdivieso. 1995. Comparaciones de la fauna epigea en cultivos de maíz y fréjol. *Investigación Agrícola*, 15: 1-15.

- Zamora, C. J. 1988. Evaluación de la calidad del agua potable del acueducto sistema Valle del Mezquital y poblaciones abastecidas en el Estado de Hidalgo, México. Tesis Profesional Química. Facultad de Química. UNAM. México. 58 pp.
- Zar, H. J. 1984. Biostatistical Analysis. 2ª. Ed. Printice Hall, Engleawood Cliffs, New Jersey. 605 pp
- Zérega, L. O. 1993. Influencia de la fertilización química en la salinización del suelo y en los rendimientos del cultivo de la caña de azúcar. I. A corto plazo. *Caña de azúcar*, 11(01): 3-44.
- Zérega, L. & T. Hernández. 1997. Influencia de la fertilización química en la salinización del suelo y en los rendimientos del cultivo de la caña de azúcar II. A mediano plazo. *Caña de azúcar*, 15 (2):53-67.

## APÉNDICE I

IMPRESO CON  
MÁQUINA DE ORIGEN



Cuadro 1. Características físicas y químicas de suelo analizados por análisis de ANOVA de dos vías (n.s. = no significativo, \* =  $p < 0.05$  significativo, \*\* =  $p < 0.005$  significativo), N= 120

Fuente	F	gl	p
pHKCl			
Fechas	38.1147	5	**
Localidad	1271.3007	1	**
Interacción	16.8322	5	**
C E.			
Fechas	40.2800	5	**
Localidad	649.9459	1	**
Interacción	4.2345	5	**
M. O.			
Fechas	70.3315	5	**
Localidad	10.2214	1	**
Interacción	18.3048	5	**
Mg <sup>++</sup>			
Fechas	27.8916	5	**
Localidad	139.1178	1	**
Interacción	4.3923	5	**
Ca <sup>++</sup>			
Fechas	7.2892	5	**
Localidad	11.4371	1	**
Interacción	1.2969	5	n. s.
K <sup>+</sup>			
Fechas	83.2081	5	**
Localidad	247.7975	1	**
Interacción	11.1696	5	**
Na <sup>+</sup>			
Fechas	25.8994	5	**
Localidad	183.0261	1	**
Interacción	7.6812	5	**
Porosidad (%)			
Fechas	5.2234	5	**
Localidad	1.5738	1	n. s.
Interacción	1.0776	5	n. s.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Cuadro 2. Especies de Collembola analizados por medio de análisis ANOVA de dos vías (n.s. = no significativo, \* =  $p < 0.05$  significativo, \*\* =  $p < 0.005$  significativo), N = 120

Fuente	F	gl	p
<i>Hipogastrura essa</i>			
Fechas	2.4748	5	*
Localidad	11.8869	1	**
Interacción	2.5674	5	*
<i>Ceratophysella succinea</i>			
Fechas	1.1699	5	n. s.
Localidad	1.6957	1	n. s.
Interacción	1.1699	5	n. s.
<i>Schoettella distincta</i>			
Fechas	0.8212	5	n. s.
Localidad	0.1064	1	n. s.
Interacción	1.1787	5	n. s.
<i>Xenylla grisea</i>			
Fechas	1.1649	5	n. s.
Localidad	26.5844	1	**
Interacción	1.1649	5	n. s.
<i>Xenylla christianseni</i>			
Fechas	1	5	n. s.
Localidad	1	1	n. s.
Interacción	1	5	n. s.
<i>Xenyllodes armatus</i>			
Fechas	0.8514	5	n. s.
Localidad	1.7428	1	n. s.
Interacción	0.8514	5	n. s.
<i>Brachystomella parvula</i>			
Fechas	1.3999	5	n. s.
Localidad	0.3333	1	n. s.
Interacción	0.3333	5	n. s.
<i>Friesea sp</i>			
Fechas	1	5	n. s.
Localidad	1	1	n. s.
Interacción	1	5	n. s.
<i>Pseudachorutes corticulus</i>			
Fechas	1	5	n. s.
Localidad	1	1	n. s.
Interacción	1	5	n. s.
<i>Mesaphorura yosii</i>			
Fechas	5.9471	5	**
Localidad	0.0377	1	n. s.
Interacción	2.1804	5	n. s.

FALLA DE ORDEN

Cuadro 2. Continuación.

Fuente	F	gl	P
<i>M. krausbaueri</i>			
Fechas	3.6143	5	**
Localidad	6.9375	1	**
Interacción	5.5381	5	**
<i>Isotomedes subarmatus</i>			
Fechas	1	5	n. s.
Localidad	1	1	n. s.
Interacción	1	5	n. s.
<i>Folsomides parvulus</i>			
Fechas	1.9404	5	n. s.
Localidad	7.2570	1	*
Interacción	1.9404	5	n. s.
<i>Proisotoma minuta</i>			
Fechas	14.5120	5	**
Localidad	41.5047	1	**
Interacción	12.5668	5	**
<i>Proisotoma sp</i>			
Fechas	1.0000	5	n. s.
Localidad	1.0000	1	n. s.
Interacción	1.0000	5	n. s.
<i>Ballistura laticauda</i>			
Fechas	5.7633	5	**
Localidad	0.0916	1	n. s.
Interacción	9.0268	5	**
<i>Cryptopygus benhami</i>			
Fechas	0.6997	5	n. s.
Localidad	16.7158	1	**
Interacción	0.6997	5	n. s.
<i>C. thermophylus</i>			
Fechas	3.1729	5	*
Localidad	53.0562	1	**
Interacción	3.1729	5	*
<i>Isotomurus binus</i>			
Fechas	24.7884	5	**
Localidad	24.7884	1	**
Interacción	24.7884	5	**
<i>Isotomiella minor</i>			
Fechas	0.8708	5	n. s.
Localidad	1.6455	1	n. s.
Interacción	0.8708	5	n. s.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

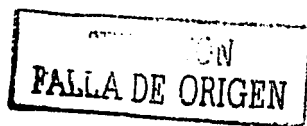
Cuadro 2. Continuación.

Fuente	F	gl	P
<i>Entomobrya ligata</i>			
Fechas	3.2901	5	*
Localidad	3.5445	1	n. s.
Interacción	2.6757	5	*
<i>E. triangularis</i>			
Fechas	9.0887	5	**
Localidad	0.4746	1	n. s.
Interacción	8.8026	5	**
<i>Lepidocyrtus pallidus</i>			
Fechas	3.4099	5	*
Localidad	4.2315	1	*
Interacción	3.6660	5	**
<i>L. violaceus</i>			
Fechas	3.1920	5	*
Localidad	0.5098	1	n. s.
Interacción	0.5098	5	n. s.
<i>Pseudosinella octopunctata</i>			
Fechas	1.7860	5	n. s.
Localidad	5.2259	1	*
Interacción	1.5344	5	n. s.
<i>P. violenta</i>			
Fechas	6.3207	5	**
Localidad	0.0231	1	n. s.
Interacción	0.3911	5	n. s.
<i>Sphaeridia serrata</i>			
Fechas	10.1154	5	**
Localidad	0.0029	1	n. s.
Interacción	0.1723	5	n. s.
<i>Sminthurinus atrapalidus</i>			
Fechas	4.7711	5	**
Localidad	7.6652	1	*
Interacción	4.7711	5	**
<i>Sminthurinus quadrimaculatus</i>			
Fechas	0.8000	5	n. s.
Localidad	0.0000	1	n. s.
Interacción	1.2000	5	n. s.


  
 TRAZO CON  
 FUELLA DE ORIGEN

Cuadr. 2. Continuación.

Fuente	F	gl	P
<i>Megalothorax incertus</i>			
Fechas	3.5887	5	**
Localidad	0.9178	1	n. s.
Interacción	0.8474	5	n. s.
<i>M. minimis</i>			
Fechas	5.2644	5	**
Localidad	1.9099	1	n. s.
Interacción	1.8625	5	n. s.


  
 CON  
 FALLA DE ORIGEN

Cuadro 3. Coeficiente de regresión múltiple entre la fauna y los parámetros físicos y químicos del suelo en dos parcelas agrícolas en el municipio de San Salvador, Hidalgo. C. E = Conductividad eléctrica; M. O. = Materia orgánica; Mg<sup>++</sup> = Magnesio; Ca<sup>++</sup> = Calcio; K<sup>+</sup> = Potasio; Na<sup>+</sup> = Sodio; P(%) = Porosidad. Gl = 12, 108, \*p<0.05

Especie	r	F	p
<i>Hypogastrura essa</i>	0.40	2.68	0.3389
	PHKCl = 0.25		
	C. E. = 0.06		
	M. O. = 0.12		
	Mg = 0.08		
	Ca = 0.09		
	K = 0.11		
	Na = 0.01		
	P (%) = 0.12		
<i>Ceratophysella succinea</i>	0.26	1.06	0.9869
	PHKCl = 0.23		
	C. E. = 0.01		
	M. O. = 0.09		
	Mg = 0.14		
	Ca = 0.08		
	K = 0.05		
	Na = 0.30		
	P (%) = 0.07		
<i>Schottella distincta</i>	0.20	0.58	0.4692
	PHKCl = 0.15		
	C. E. = 0.09		
	M. O. = 0.09		
	Mg = 0.02		
	Ca = 0.07		
	K = 0.09		
	Na = 0.14		
	P (%) = 0.07		
<i>Xenylla grisea</i>	0.50	4.81	0.0001
	PHKCl = - 0.38*		
	C. E. = 0.17		
	M. O. = 0.02		
	Mg = 0.00		
	Ca = 0.02		
	K = 0.05		
	Na = 0.01		
	P (%) = 0.17		
<i>Xenylla christianseni</i>	0.37	2.23	0.0092
	PHKCl = 0.28		
	C. E. = 0.21		
	M. O. = - 0.25*		
	Mg = 0.24		
	Ca = 0.06		
	K = 0.26		
	Na = 0.09		
	P (%) = 0.06		



Cuadro 3. Continuación

Especie	r	F	p
<i>Xenyllodes armatus</i>	0.21	0.64	0.3816
	PHKCI = 0.05 C. E. = 0.11 M. O. = 0.10 Mg = 0.08 Ca = 0.02 K = 0.01 Na = 0.09 P (%) = 0.09		
<i>Brachystomella parvula</i>	0.25	0.96	0.2907
	PHKCI = 0.06 C. E. = 0.01 M. O. = 0.01 Mg = 0.07 Ca = 0.06 K = 0.19 Na = - 0.39* P (%) = 0.11		
<i>Friesea</i> sp	0.19	0.57	0.0019
	PHKCI = 0.08 C. E. = 0.02 M. O. = 0.02 Mg = 0.02 Ca = 0.01 K = 0.01 Na = 0.19 P (%) = 0.07		
<i>Pseudachorutes corticiculus</i>	0.24	0.88	0.7276
	PHKCI = 0.26 C. E. = 0.04 M. O. = 0.07 Mg = 0.18 Ca = 0.09 K = 0.00 Na = 0.25 P (%) = 0.08		
<i>Mesaphorura yosiii</i>	0.29	1.27	0.3058
	PHKCI = 0.26 C. E. = 0.01 M. O. = 0.12 Mg = 0.31* Ca = 0.06 K = 0.02 Na = 0.07 P (%) = 0.06		

TEXIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 3. Continuación

Especie	r	F	p
<i>M. krausbaueri</i>	0.33	1.79	0.0278
	PHKCl = - 0.43*		
	C. E. = 0.04		
	M. O. = 0.08		
	Mg = 0.15		
	Ca = 0.04		
	K = 0.08		
	Na = 0.13		
	P (%) = 0.06		
<i>Isotomodes ca. subarmatus</i>	0.14	0.30	0.2357
	PHKCl = 0.06		
	C. E. = 0.04		
	M. O. = 0.05		
	Mg = 0.16		
	Ca = 0.04		
	K = 0.04		
	Na = 0.04		
	P (%) = 0.04		
<i>Folsomides parvulus</i>	0.27	1.11	0.0504
	PHKCl = 0.31		
	C. E. = 0.10		
	M. O. = 0.08		
	Mg = 0.10		
	Ca = 0.01		
	K = 0.02		
	Na = 0.01		
	P (%) = 0.06		
<i>Proisotoma minuta</i>	0.62	8.69	0.0000
	PHKCl = - 0.80*		
	C. E. = 0.08		
	M. O. = 0.12		
	Mg = 0.16		
	Ca = 0.03		
	K = 0.23		
	Na = 0.05		
	P (%) = 0.13		
<i>Proisotoma sp</i>	0.14	0.31	0.1732
	PHKCl = 0.06		
	C. E. = 0.12		
	M. O. = 0.04		
	Mg = 0.05		
	Ca = 0.02		
	K = 0.02		
	Na = 0.09		
	P (%) = 0.00		

FALLA DE ORIGEN



Cuadro 3. Continuación

Especie	r	F	p
<i>Ballistura laticauda</i>	0.35	2.05	0.6721
	PHKCI = 0.19 C. E. = 0.11 M. O. = 0.21* Mg = 0.24 Ca = 0.05 K = 0.05 Na = 0.28 P (%) = 0.08		
<i>Cryptopygus ca. benhami</i>	0.36	2.14	0.1281
	PHKCI = 0.10 C. E. = 0.03 M. O. = 0.01 Mg = 0.16 Ca = 0.11 K = 0.03 Na = 0.20 P (%) = 0.04		
<i>C. thermophylus</i>	0.55	6.10	0.0003
	PHKCI = -0.48* C. E. = 0.01 M. O. = 0.15 Mg = 0.02 Ca = 0.01 K = 0.10 Na = 0.03 P (%) = 0.06		
<i>Isotomurus bimus</i>	0.43	3.22	0.5590
	PHKCI = 0.08 C. E. = 0.05 M. O. = 0.11 Mg = 0.46* Ca = 0.14 K = 0.18 Na = -0.36* P (%) = 0.19*		
<i>Isotomiella minor</i>	0.16	0.37	0.3145
	PHKCI = 0.06 C. E. = 0.06 M. O. = 0.09 Mg = 0.01 Ca = 0.09 K = 0.03 Na = 0.02 P (%) = 0.06		

FALLA DE ORIGEN

Cuadro 3. Continuación

Especie	r	F	p
<i>Entomobrya ligata</i>	0.36	2.13	0.0930
	PHKCI = 0.24 C. E. = 0.17 M. O. = 0.18 Mg = 0.01 Ca = 0.14 K = 0.19 Na = 0.14 P (%) = 0.15		
<i>E. triangularis</i>	0.50	4.87	0.2459
	PHKCI = 0.39* C. E. = - 0.34* M. O. = - 0.36* Mg = - 0.29* Ca = 0.06 K = 0.27 Na = 0.25 P (%) = 0.00		
<i>Lepidocyrtus pallidus</i>	0.32	1.67	0.8163
	PHKCI = 0.14 C. E. = 0.18 M. O. = 0.13 Mg = 0.10 Ca = 0.03 K = 0.02 Na = 0.20 P (%) = 0.02		
<i>L. ca. violaceus</i>	0.33	1.74	0.9310
	PHKCI = 0.38* C. E. = 0.05 M. O. = 0.03 Mg = 0.25 Ca = 0.16 K = 0.17 Na = 0.11 P (%) = 0.14		
<i>Pseudosinella octopunctata</i>	0.32	1.67	0.0437
	PHKCI = 0.39* C. E. = 0.03 M. O. = 0.05 Mg = 0.02 Ca = 0.05 K = 0.26 Na = 0.01 P (%) = 0.01		

CON  
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 3. Continuación

Especie	r	F	p
<i>P. violenta</i>	0.27	1.15	0.6012
	PHKCl = 0.06 C. E. = 0.08 M. O. = 0.08 Mg = 0.24 Ca = 0.03 K = 0.23 Na = 0.14 P (%) = 0.01		
<i>Sphaeridia serrata</i>	0.32	1.62	0.5700
	PHKCl = 0.18 C. E. = 0.06 M. O. = 0.11 Mg = 0.38* Ca = 0.069 K = 0.04 Na = 0.17 P (%) = 0.08		
<i>Smithurinus atrapallidus</i>	0.27	1.15	0.2047
	PHKCl = 0.11 C. E. = - 0.25* M. O. = 0.14 Mg = 0.02 Ca = 0.13 K = 0.27 Na = 0.42* P (%) = 0.01		
<i>S. quadrimaculatus</i>	0.22	0.72	0.22
	PHKCl = 0.04 C. E. = 0.03 M. O. = 0.14 Mg = 0.03 Ca = 0.04 K = 0.28 Na = 0.25 P (%) = 0.16		
<i>Megalothorax incertus</i>	0.20	0.60	0.5981
	PHKCl = 0.01 C. E. = 0.01 M. O. = 0.06 Mg = 0.21 Ca = 0.03 K = 0.05 Na = 0.00 P (%) = 0.09		

TESIS CON  
SELLA DE ORIGEN

Cuadro 3. Continuación

Especie	r	F	p
<i>M. minimus</i>	0.28	1.18	0.7637
	PIKCl = 0.07		
	C. E. = 0.07		
	M. O. = 0.09		
	Mg = 0.26		
	Ca = 0.05		
	K = 0.10		
	Na = 0.19		
	P (%) = 0.16		

TRACIO CON  
FALLA DE ORIGEN