



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

FACULTAD DE CIENCIAS

**DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LA COMUNIDAD
DE COLÉMBOLOS EN MUSGOS CORTICÍCOLAS DE
LA PARTE NOROESTE DEL IZTACCÍHUATL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

P R E S E N T A

M. en C. LEOPOLDO QUERUBÍN CUTZ POOL

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ GUADALUPE PALACIOS VARGAS

MÉXICO, D. F.

MAYO, 2008



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.

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 11 de Febrero de 2008, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de DOCTOR EN CIENCIAS del alumno LEOPOLDO QUERUBIN CUTZ POOL con número de cuenta 501004044 con la tesis titulada: "Distribución altitudinal de la comunidad de colémbolos en musgos corticícolas de la parte noroeste del Iztaccíhuatl", realizada bajo la dirección del DR. JOSÉ GUADALUPE PALACIOS VARGAS:

Presidente:	DR. ALFONSO NERI GARCÍA ALDRETE
Vocal:	DR. SANTIAGO ZARAGOZA CABALLERO
Vocal:	DR. JOAQUÍN BUENO SORIA
Vocal:	DRA. ROSA GABRIELA CASTAÑO MENESES
Secretario:	DR. JOSÉ GUADALUPE PALACIOS VARGAS
Suplente:	DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ
Suplente	DR. ZENÓN CANO SANTANA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a, 14 de Abril de 2008.

Dr. Juan Núñez Farfán
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado.

AGRADECIMIENTOS

Al posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM por todo el apoyo proporcionado en la plataforma de docentes para efectuar los estudios en el programa de Doctorado en Ciencias (Biología).

Al CONACYT y DGEP por el apoyo de la beca proporcionada para continuar mis estudios de posgrado en el programa doctoral de la Facultad de ciencias, UNAM.

A la Facultad de Ciencias, UNAM por el apoyo logístico al presentar los trabajos derivados del proyecto de investigación del doctorado en el XL Congreso Nacional de Entomología llevado a cabo en la ciudad de Tapachula, Chiapas y XLI Congreso Nacional de Entomología realizado en la ciudad de Manzanillo, Colima.

Al Dr. José G. Palacios Vargas, director de esta tesis, por su ayuda, apoyo y confianza que siempre me brindó durante mi desarrollo y formación académica, así como por la corroboración de las identificaciones.

A los Drs. Zenón Cano Santana, José G. Palacios Vargas y Santiago Zaragoza Caballero, miembros del comité tutorial, quienes siempre estuvieron a mi lado para plantear las interrogantes y ayudarme a encontrar las soluciones para éstas.

A la Dra. Gabriela Castaño Meneses quien desinteresadamente y en todo momento estuvo pendiente en la revisión de los manuscritos que integran la tesis y por sus valiosos comentarios que enriquecieron a la misma.

A los Drs. Alejandro Córdoba-Aguilar y Juan José Morrone-Lupi, quienes también tomaron parte en mi formación como Dr. en Ciencias.

Al P. de Biól. Armando Ponce por la identificación de las especies de plantas involucradas en la tesis.

Al Dr. Claudio Delgadillo M. y a María de los Ángeles Cárdenas S., ambos de la Colección de Briofitas del Instituto de Biología, UNAM, por apoyar en la identificación de los musgos involucrados en la tesis.

El trabajo de campo se realizó gracias a la colaboración de los M. en C. Ricardo Iglesias, Daniel Estrada, María de los Ángeles Díaz, Patricia Hernández, Carmen Maldonado y los Biól. Arturo García, Aldo Bernal y Leonardo González. También en alguna ocasión participaron los P. de Biól. Alma Navarro y Alejandro Ponce.

A la Dra. Blanca E. Mejía Recamier, que de algún modo me transmitió sus conocimientos con respecto al trabajo de laboratorio.

DEDICATORIAS

A mis padres

Juan Cutz† y Lucía Pool, quienes son mi más preciado tesoro. Gracias por tenerme confianza para realizar mis logros.

A mis hermanos

José, Pedro, Juan†, Santiago, Tito y Dulce, quienes han sabido ser mis mejores amigos, y por estar siempre presentes cuando los he necesitado.

A mis padres y hermanos políticos

Luis A. Díaz y Albina Estrella, Roberto, Gabriel, Candelaria quienes están siempre al pendiente de mis logros, gracias por su cariño y motivación para seguir adelante.

A los abuelos y tíos quienes han partido de este mundo

Berta†, Pedro†, Marcelina† y Ana† quienes me enseñaron tener fortaleza y confianza ante cualquier adversidad.

A mis sobrinos

Juan, Pedro, Gilberto, Ángel, Roberto, Suriel, Christian, Alejandro, Habid, Yahzid, Raymundo, Fabián, Claudia, Deysi, Ileana, Gabriela, Nabija, Xilema, Estefanía, quienes son la fuente de motivación para salir adelante.

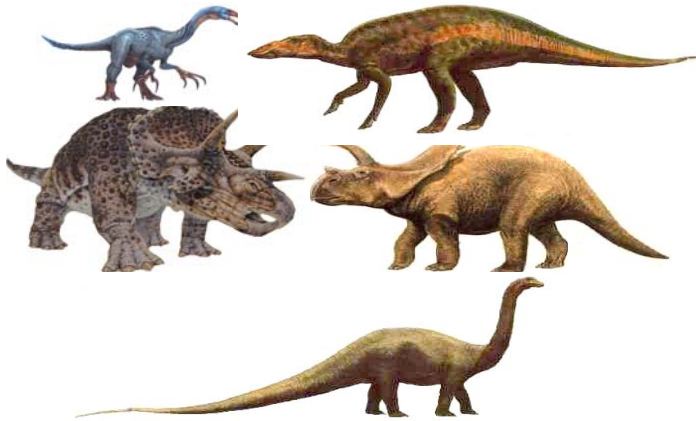
A María

Mi esposa, por su cariño y comprensión

Al pequeño Juan Luis

Quien es mi principal fuente de inspiración y porque apenas inicia el caminar en este mundo.

Al gran compañero y amigo Mariano Fuentes† que se nos adelantó pero que siempre estará entre nosotros.



Algunas cosas comienzan grandes
Algunas otras comienzan pequeñas
Muy pequeñas, más las cosas pequeñas
A veces hacen las cosas más grandiosas.



(Fotos tomados de Janssens 2008)

CONTENIDO

Resumen	1
Abstract	3
Presentación	5
1. Introducción General	8
1.1 La naturaleza de las comunidades	8
1.2 Altitud y diversidad	9
1.3 Distribución vertical de los colémbolos.....	10
1.4 Características de los musgos	11
1.5 Asociación Collembola-Musgo	12
1.6 Importancia de los colémbolos en el ecosistema muscícola	13
1.7 Antecedentes	15
1.8 Justificación	17
1.9 Literatura citada.....	18
2. Objetivos	28
3. Hipótesis	29
4. Zona de estudio	30
4.1 Área de estudio	30
4.2 Edafología	33
4.3 Hidrología	33
4.4 Clima	34
4.5 Vegetación	35
4.6 Literatura citada	37

5. Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en musgos corticícolas en un gradiente altitudinal de un bosque templado subhúmedo.....	41
5.1 Abstract	41
5.2 Introducción	42
5.3 Materiales y Métodos	43
5.4 Resultados	45
5.5 Discusión	52
5.6 Referencias	56
6. Estratificación vertical de las comunidades de colémbolos de musgos epífitos de la vertiente Noroeste del Iztaccíhuatl, México.	61
6.1 Resumen	61
6.2 Introducción	63
6.3 Material y método	65
6.4 Resultados	67
6.5 Discusión	73
6.6 Literatura citada.....	76
7. Diversity patterns of Collembola in an elevation gradient in the NW slope of Iztaccíhuatl volcano, State of México, México.	82
7.1 Abstract	82
7.2 Introduction	84
7.3 Material and methods.....	85
7.4 Results	87

7.5 Discussion	93
7.6 References	96
8. Discusión General	103
9. Literatura citada.....	110

Resumen

El musgo ha sido considerado como un medio muy especial, donde vive una fauna típica caracterizada principalmente por bacterias, rotíferos, tardígrados, nemátodos, colémbolos, ácaros y otros artrópodos. Entre los habitantes de los musgos, los colémbolos constituyen el elemento más abundante, sin embargo, las asociaciones que se establecen entre éstos han sido poco abordados por los investigadores. Los pocos trabajos que existen están enfocados principalmente a conocer la riqueza específica, abundancia y composición de los colémbolos. Existen algunos que se evocan a determinar la variación espacial y temporal de las comunidades y reconocer los efectos de la contaminación del aire sobre los musgos, utilizando como indicadores biológicos a los colémbolos. Las investigaciones realizadas sobre las comunidades de musgos edáficos y saxícolas se han enfocado principalmente a la riqueza, abundancia y composición de los Collembola. Poco se sabe de las comunidades de colémbolos en regiones templadas. Debido a lo anterior, el presente estudio busca caracterizar la estructura de la comunidad de los colémbolos que habitan en los musgos corticícolas en un bosque templado subhúmedo en la parte noroeste del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México, y al mismo tiempo, evaluar el efecto que tiene la altitud sobre la estructura de las comunidades. Para ello, se determinó su patrón de distribución espacial y temporal en la vertiente noroeste del Iztaccíhuatl. Se encontró un patrón en el que aumenta la densidad de los colémbolos conforme se incrementa la altitud, así como una disminución en la riqueza y diversidad en este gradiente.

El estudio se llevó a cabo en la temporada de lluvias (junio y agosto del 2004) y de sequía (noviembre 2003 y marzo del 2004) en tres altitudes, tomando un total de 180 muestras de musgos corticícolas. En este muestreo fueron colectados un total de 2, 172 ejemplares y se determinaron 24 especies. La mayor densidad y diversidad se obtuvo

en la temporada de lluvias. Se encontró que existe un efecto significativo entre la temporada de colecta, y la altitud sobre la densidad y la diversidad de los colémbolos. En un quinto muestreo realizado en agosto del 2005 en la misma vertiente, tomando un gradiente de siete altitudes, se colectaron musgos corticícolas en 70 árboles, extrayendo un total de 2, 230 ejemplares de colémbolos pertenecientes a 30 especies. La mayor densidad se obtuvo en la altitud mayor, mientras que las diversidades más elevadas se registraron en los pisos I (2, 750 m) y II (2, 830 m), y la equitatividad más alta se presentó en el I. Se encontró un efecto significativo y positivo de la altitud sobre la densidad y un efecto significativo y negativo de la altitud sobre la riqueza específica y el índice de diversidad (H'). Se determinó que tanto la riqueza específica como el índice de diversidad (H') disminuye conforme aumenta la altitud mientras que sucede todo lo contrario con la abundancia.

Mediante el análisis de regresión lineal se determinó que las abundancias de nueve especies (*Friesea hoffmannorum*, *Neanura muscorum*, *Pratanuridae boeneri*, *Folsomides angularis*, *Tomocerus minor*, *Sphaeridia pumilis*, *S. serrata*, *Sminthurinus conchyliaetus* y *Ptenothrix marmorata*) se correlacionan negativa y significativamente con la altitud. En contraste, las abundancias de *Americanura* sp. nov., *Pseudachorutes subcrassus*, *Pseudisotoma sensibilis*, *Entomobrya* ca. *triangularis*, *Willowsia mexicana* y *Lepidocyrtus* ca. *lanuginosus* muestran una correlación significativa y positiva con la altitud. Se concluye que los colémbolos son indicadores biológicos de la altitud.

Abstract

Moss, a biotope where a typical fauna develops, made by bacteria, rotifera, tardigrada, nematoda, springtails and mites, and other arthropoda, has been considered a very special environment. The most prolific animals living in moss are the springtails, nevertheless the associations established between them and the moss has been poorly studied. Some of the few contributions about moss fauna, deal with specific richness, abundance and composition of the springtails and very few have studied those communities as bioindicators of air pollution. These studies have been done in other climatic regions, so the knowledge about the moss springtails from temperate regions is very poor. In order to determine the structure of the communities of the springtails inhabiting the corticolous moss in a temperate subhumid forest, a study was done on the Northwest slope of the Volcán Iztaccíhuatl, Mexico State, in a altitudinal gradient.

After the study of the pattern of spatial and time distribution of the communities of the springtails, it was found that there is an increase of their density and a decrease of their richness and diversity at the highest elevations in the altitudinal gradient.

The springtail communities were studied in the rainy season (June and August, 2004) and in the dry season (November 2003 and March 2004) at three different altitudes, sampling 180 corticolous moss units. A total of 2,172 springtails, belonging to 24 species were obtained. Highest abundance and diversity was obtained at the rainy season. A significant effect between the season and the altitudes was found.

A fifth sampling was done in August, 2005 (for comparison purposes) in one altitudinal gradient of seven different elevations, sampling 70 corticolous moss units, a total of 2,230 springtails belonging to 30 species were obtained. Highest abundance

was obtained at the highest altitude, but highest diversities were recorded at the I and II elevations and the highest equitability was presented at the elevation I. The specific richness and the diversity index (H') decreases when the altitude increases, contrary to the abundance.

The altitude effect on the communities distribution was confirmed. It is significant and positive on the abundance and significant and negative on the richness and diversity index.

By means of the lineal regression analysis, it was determined that nine species (*Friesea hoffmannorum*, *Neanura muscorum*, *Pratanurida boeneri*, *Folsomides angularis*, *Tomocerus minor*, *Sphaeridia pumilis*, *S. serrata*, *Sminthurinus conchyliatus* and *Ptenothrix marmorata*) were significantly correlated with the altitude, showing that altitude is the most important factor affecting the density of the populations. The contribution of this study is that one can use springtails communities as biological indicators of the altitude.

On the other hand, six species (*Americanura* sp. nov., *Pseudachorutes subcrassus*, *Pseudisotoma sensibilis*, *Entomobrya* ca. *triangularis*, *Willowsia mexicana* and *Lepidocyrtus* ca. *lanuginosus*) show a great affinity with higher altitudes, having a significant positive correlation with the altitude. The results show that springtails give important information in the altitudinal gradient, as there is a decrease of the specific richness and diversity index.

Presentación

Los colémbolos y los musgos son dos elementos de importancia en los ecosistemas templados tanto por su biodiversidad como por las interacciones que se establecen entre ellos. Las relaciones entre musgos y microartrópodos han sido objeto de estudio por pocos investigadores, permitiendo obtener información de relativa importancia sobre dichas interacciones y el beneficio que pueden brindarles los musgos para la fauna que alberga, en especial sobre los colémbolos, al incrementar la disponibilidad en el espacio y diferentes nichos ecológicos para los organismos que ocupan este microambiente.

Pocos son los estudios que mencionan los beneficios que obtienen los colémbolos al vivir en musgos, aunque se sabe que este microhábitat es utilizado como refugio contra depredadores y condiciones climáticas adversas, asimismo existen evidencias de que algunos colémbolos pueden nutrirse de tejidos vegetales de los propios musgos, y que incluso pueden encontrar otros recursos alimenticios, tales como otros invertebrados.

Por otra parte, se sabe que la diversidad en cuanto a la riqueza sufre una disminución conforme aumenta la latitud, patron registrado para comunidades de plantas y animales. Sin embargo, no se cuenta con estudios que evalúen la influencia que puede tener la altitud sobre los colémbolos de musgos corticícolas, lo que inspiró el desarrollo de la presente investigación.

El trabajo se estructuró de manera que se tenga una descripción del sistema de estudio, para conocer las propiedades y características, así como los factores que la afectan. Por lo que, fundamentalmente dos son las preguntas principales a resolver en el presente estudio. 1) ¿Cómo cambia la estructura de la comunidad de los colémbolos muscícolas debido a la altitud, la altura sobre la especie hospedera y a la temporalidad

(lluvias y secas)?, y 2) ¿cómo afecta la altitud a la distribución de la comunidad de los colémbolos muscícolas?

Tomando en cuenta lo anterior, primero se presenta una introducción (Capítulo 1), en el cual se plantean los aspectos generales sobre la naturaleza de las comunidades, altitud y diversidad, distribución vertical de colémbolos, características de los musgos, asociación colémbolos-musgos, importancia de los colémbolos en el ecosistema muscícola, antecedentes y justificación. También se mencionan los escasos trabajos relacionados sobre las asociaciones que existen con la fauna asociada, en particular los colémbolos y las características particulares del sistema de estudio (musgos corticícolas), siendo que estos trabajos han sido realizados en bosques templados, por lo que es poca la información a nivel mundial y casi nula la que se tienen de regiones templadas de México. En los capítulos 2 y 3 se presentan los objetivos y las hipótesis de la investigación realizada.

En el Capítulo 4 se describe la zona de estudio que se ubica dentro del Parque Nacional Izta-Popo, en un bosque templado subhúmedo de *Quercus*, *Abies* y *Quercus-Abies* en la vertiente noroeste del Volcán Iztaccíhuatl, que se ubica en un intervalo altitudinal de 2,600 a 3,400 m.

En el Capítulo 5 se buscó conocer cómo afecta la estacionalidad y la altitud a la estructura de la comunidad de los colémbolos muscícolas. Este trabajo determinó que la temporalidad y la altitud afecta la estructura de la comunidad de los colémbolos asociados a los musgos al disminuir la diversidad y al ascender la altitud, encontrando lo contrario con la densidad que se incrementó a mayor altitud. Asimismo, se encontraron diferencias en la composición de las comunidades de los colémbolos muscícolas. El capítulo 6 revisa la influencia de la altura (sobre la especie hospedera) sobre la distribución vertical de la comunidad de los colémbolos. En este estudio se

observó que la altura sobre el árbol a la que fueron tomadas las muestras afectan negativamente a la densidad de los colémbolos, existiendo una variación en la distribución vertical de los musgos, siendo menos diversos a mayor altura sobre el árbol afectando a la composición de la comunidad de los colémbolos.

En el último capítulo (7) se describen los patrones de diversidad de los colémbolos en un gradiente altitudinal en la vertiente NW del Volcán Iztaccíhuatl, abarcando siete sitios de recolecta. Por medio del análisis de regresión lineal se evaluó el efecto de la altitud sobre la densidad de los colémbolos. Se obtuvo una mayor densidad a mayor altitud, las especies que mostraron un efecto significativo positivo a la altitud fueron *Pseudisotoma sensibilis*, *Willowsia mexicana* y *Americabrya arida*. Las especies que se correlacionaron significativamente y de manera negativa fueron: *Friesea hoffmmanorum*, *Pratanurida boernerii*, *Folsomides angularis*, *Sphaeridia pumilis*, *Sminthurinus conchylatus* y *Ptenothrix marmorata*. Se encontró además que la altitud afecta la composición y abundancia de las comunidades de Collembola, así como también a la riqueza específica y la diversidad al disminuir ambos conforme asciende el gradiente altitudinal.

Finalmente, en el capítulo 8 se hace una discusión general, integrando los datos de los tres capítulos anteriores.

1. Introducción general

Los musgos presentan un hábitat propicio para el establecimiento de los colémbolos (Acón 1975; Acón y Simón 1979; Usher y Booth 1984; Andrew y Rodgerson 1999; Andrew *et al.* 2003). Los microhábitats de los musgos son variados: lapidícolas, corticícolas, terrícolas, saxícolas y acuícolas (Acón 1975; Matteri 1998; Delgadillo 1998, 2003); y sobre el dosel (Richter y Moreira-Muñoz 2005). El microhábitat de los musgos corticícolas ha sido frecuentemente ignorado en los estudios sobre este sustrato, por lo que se tiene muy poca información sobre sus comunidades asociadas y las interacciones que en ellas se establecen (Bonet *et al.* 1972; Acón 1975; André 1976; Arlé y Guimaraes 1981; André 1983; André y Lebrun 1982; Ardanaz y Jordana 1986a, b, c; Villanueva y Jordana 1988).

1.1 La naturaleza de las comunidades

La comunidad es el conjunto de poblaciones de diferentes especies que interactúan entre factores bióticos o abióticos en un mismo tiempo y espacio (Whittaker 1975; Begon *et al.* 1996). Existen dos teorías que explican la naturaleza de la comunidad: la primera, conocida como “teoría superorganísmica”, propuesta por Clemens y Tansley en 1916 (Whittaker 1975; Begon *et al.* 1990), la cual afirma que la comunidad está compuesta de especies recurrentes y semejantes que tienden a la estabilidad dinámica después de un disturbio, presentando autorregulación, y que son unidades con límites definidos. Por otra parte, “la teoría individualista”, propuesta por Gleason en 1926, afirma que una comunidad es un conjunto de especies con los mismos requerimientos ambientales siendo los límites indefinidos pues existe un gradiente continuo de condiciones ambientales en el tiempo y espacio (Begon *et al.* 1990).

Para conocer la naturaleza de la comunidad se analiza la composición y la estructura de la misma (Whittaker 1975; Begon *et al.* 1996). La *composición* es el listado de especies de la comunidad (Begon *et al.* 1990, 1996) y la *estructura* es el número de especies y las abundancias relativas de cada una de ellas (Diamond y Case 1986). Estos componentes sufren cambios en el tiempo y espacio.

1.2 Altitud y diversidad

En general, existe una disminución de la diversidad conforme la altitud aumenta (Begon *et al.* 1990; Stevens 1992; Rahbek 1995, 1997), la mayoría de los estudios que se han observado con este patrón se refieren a plantas, aves y en algunos casos hormigas, pero no en todos los grupos sucede lo mismo. Esto es análogo al patrón que se presenta a lo largo del gradiente latitudinal (Begon *et al.* 1990; Stevens 1992; Rahbek 1995, 1997), en el cual la diversidad aumenta hacia los trópicos. Este patrón se explica porque la altitud modifica las condiciones climáticas del medio (Miller 1957; Barry 1981) afectando la distribución y abundancia de los organismos (Krebs 1985; Begon *et al.* 1996). Los gradientes de condiciones que pueden influir directamente sobre las comunidades biológicas al incrementarse la altitud son: la disminución de la temperatura, así como el incremento de la velocidad del viento y de la disponibilidad de agua (Miller 1957; Barry 1981). Estas condiciones en el gradiente altitudinal pueden afectar el desarrollo y el desempeño de los seres vivos (Krebs 1985). Bajo condiciones ambientales extremas las poblaciones se pueden ver afectadas negativamente en su supervivencia, reproducción, desarrollo de sus etapas juveniles y su capacidad competitiva (Krebs 1985). Este comportamiento se atribuye al aislamiento progresivo con las comunidades de sitios bajos y la reducción del área conforme se incrementa la altitud (Rahbek 1995; Begon *et al.* 1996).

Los diferentes estudios sobre la estructura de las comunidades de plantas y animales en un gradiente altitudinal, se han enfocado a la variación en la diversidad y riqueza específica. En su gran mayoría, los diferentes autores encuentran que la diversidad y el número de especies decrecen conforme se incrementa la altitud y lo mismo sucede si se considera la latitud (MacArthur 1972; Brown y Gibson 1983; Wolda 1987; Brown 1988; Gentry 1988; Begon *et al.* 1990; Holloway *et al.* 1990; Stork y Brendell 1990; Holloway y Stork 1991; Groombridge 1992; Stevens 1992; Rahbek 1995,1997; Begon *et al.* 1996). En otros grupos taxonómicos se presentan patrones que difieren de la generalidad (Janzen 1981; Wolf 1993). Estas variaciones en los patrones de diversidad en gradientes altitudinales, se ha planteado que pueden estar relacionados con la escala de medición. Así, la magnitud de las variaciones en los patrones de diversidad pueden ser muy evidentes a escala local, pero si el estudio es regional, pueden no ser tan evidentes tales cambios (Lobo y Halffer 2000; Andrew *et al.* 2003).

Los patrones ecológicos documentados y relacionados con la riqueza de especies y la altitud, señalan que puede existir un patrón monotónico sobre el decremento de la riqueza de especies conforme la altitud aumenta (MacArthur 1972, Stevens 1992) o bien se puede encontrar un patrón en donde los picos más altos de la riqueza de especies se encuentran a altitudes intermedias (Rahbek 1995).

1.3 Distribución vertical de los colémbolos

Los colémbolos por lo general habitan los primeros 20 cm del suelo (Palacios-Vargas *et al.* 2004). La mayoría de ellos viven en las primeras capas del suelo, principalmente en la capa de hojarasca y humus (Takeda 1978; Hagvar 1983; Wolters 1983; Christiansen 1992; Berg *et al.* 1998; Villani *et al.* 1999); sin embargo, su migración a las capas más profundas del suelo constituye un comportamiento bien conocido, y se sabe que tales

movimientos están relacionados con diferentes factores de acuerdo a las características climáticas de las áreas donde los diferentes estudios han sido realizados (Hopkin 1997; Ponge 1999).

La estratificación vertical de distintos organismos está dado dependiendo del sistema de estudio (plantas de un bosque, plancton dentro de lagos y microartrópodos en el suelo). La estratificación vertical de la capa superficial del suelo es una característica de la heterogeneidad de los bosques (Hagvar 1983; Ponge 1999). Por otra parte, cambios en la composición de especies de acuerdo con la profundidad del suelo se han asociado a factores, como la calidad y cantidad de la hojarasca, acidez y humedad (Ponge 1980; Badejo *et al.* 1997; Cutz-Pool *et al.* 2003, 2007). Lo anterior también se presenta en la distribución vertical de los Collembola: (1) los estados de descomposición de la hojarasca (Takeda 1995; Cutz-Pool *et al.* 2003), (2) la densidad de raíces de las plantas (Faber y Josse 1993) y (3) la distribución microbiana (Hassal *et al.* 1986). La razón por la cual la vida de las especies animales difiere dentro de los diferentes horizontes de la capa de hojarasca y del suelo continúa siendo desconocida.

1. 4 Características de los musgos

Las características morfológicas de los musgos les permite tener una estabilidad a las variaciones microclimáticas, es decir pueden sobrevivir en condiciones ambientales extremas, por ejemplo en ambientes áridos o a grandes altitudes (Franks y Bergstrom 2000). La altitud es un factor ecológico importante en la distribución de la comunidad muscícola, lo que resulta decisivo principalmente por los cambios climáticos que determinan y tienen un papel trascendental en la estructuración de las comunidades (Hodkinson 2005).

Entre las características físicas y químicas que permiten a los musgos corticícolas establecerse en la corteza de los árboles se encuentran el porcentaje de humedad absorbida por los árboles, la intensidad de la luz recibida, la temperatura del aire, el pH de la corteza, la talla del árbol, el tipo de corteza, la inclinación del árbol y la altitud (Franks y Bergstrom 2000; Prinzing 2005; Woda *et al.* 2006). Estos factores determinan la distribución espacial de los musgos y constituyen la complejidad de los microhábitats. De los factores anteriores tanto el contenido de humedad retenida por la corteza del árbol como el pH son las limitantes para el desarrollo de las comunidades de los musgos méxicos y xéricos (Patterson 1940; Franks y Bergstrom 2000; Prinzing 2005). El microhábitat que constituyen los musgos corticícolas ha sido escasamente tomado en cuenta sobre los estudios para este sustrato, por lo cual existe poca información al respecto sobre las comunidades asociadas a él y las interacciones que en ellas se puedan establecer (Bonet *et al.* 1972; Acón 1975; André 1976; André y Lebrun 1979; André 1983; Vilanueva y Jordana 1988; Andrew y Rodgerson 1999; Andrew *et al.* 2003; Cutz-Pool *et al.* 2005; Prinzing 2005).

1.5 Asociación colémbolo-musgo

Los musgos han sido considerados como un medio ecológico muy particular, donde vive una fauna típica caracterizada principalmente por tecamebas, rotíferos, tardígrados, nemátodos, colémbolos, ácaros y otros artrópodos (Gadea 1964; Gerson 1969).

Constituyen también refugios sin ninguna atracción alimenticia específica para los microartrópodos y por sus características morfológicas son de naturaleza diferente a los líquenes (Smrž 1992). Sin embargo, se tienen registros que tanto Collembola como insectos hemimetábolos se alimentan de algunos musgos (Gerson 1969). Pryor (1962) encontró que el colémbolo *Isotoma kloustadi* se alimentaba ampliamente de los musgos.

La preferencia alimenticia de estos hexápodos ha sido documentado por Janetschek (1967), quien demostró que *Gomphiocephalus hodgsoni* (Hypogastruridae) prefería alimentarse de musgos por encima de las algas verdes-azules, líquenes rojos o el moho de *Penicillium*. También se han registrado colémbolos que diseminan las esporas de algunos musgos y utilizan a éstos como refugio contra la depredación, temperatura extrema, viento y humedad extrema (Gerson 1969, Rusek 1998; Johnston 2000).

1.6 Importancia de los colémbolos en el ecosistema muscícola

Los colémbolos, además de encontrar abrigo en los musgos contra la depredación y las condiciones ambientales extremas, también pueden encontrar sus recursos alimenticios tales como elementos de la microfauna, bacterias, hongos, algas y los mismos tejidos vegetales del musgo. Asimismo, también pueden ser parasitados por protozoarios, nemátodos, tremátodos y ser atacados también por hongos y bacterias patógenas (Gadea 1964; Gerson 1969; Bauer 1985; Rusek 1998; Johnston 2000). Las relaciones que establecen los colémbolos con distintos grupos en musgos, son diversas, en la que incluyen varios niveles funcionales (Fig. 1).

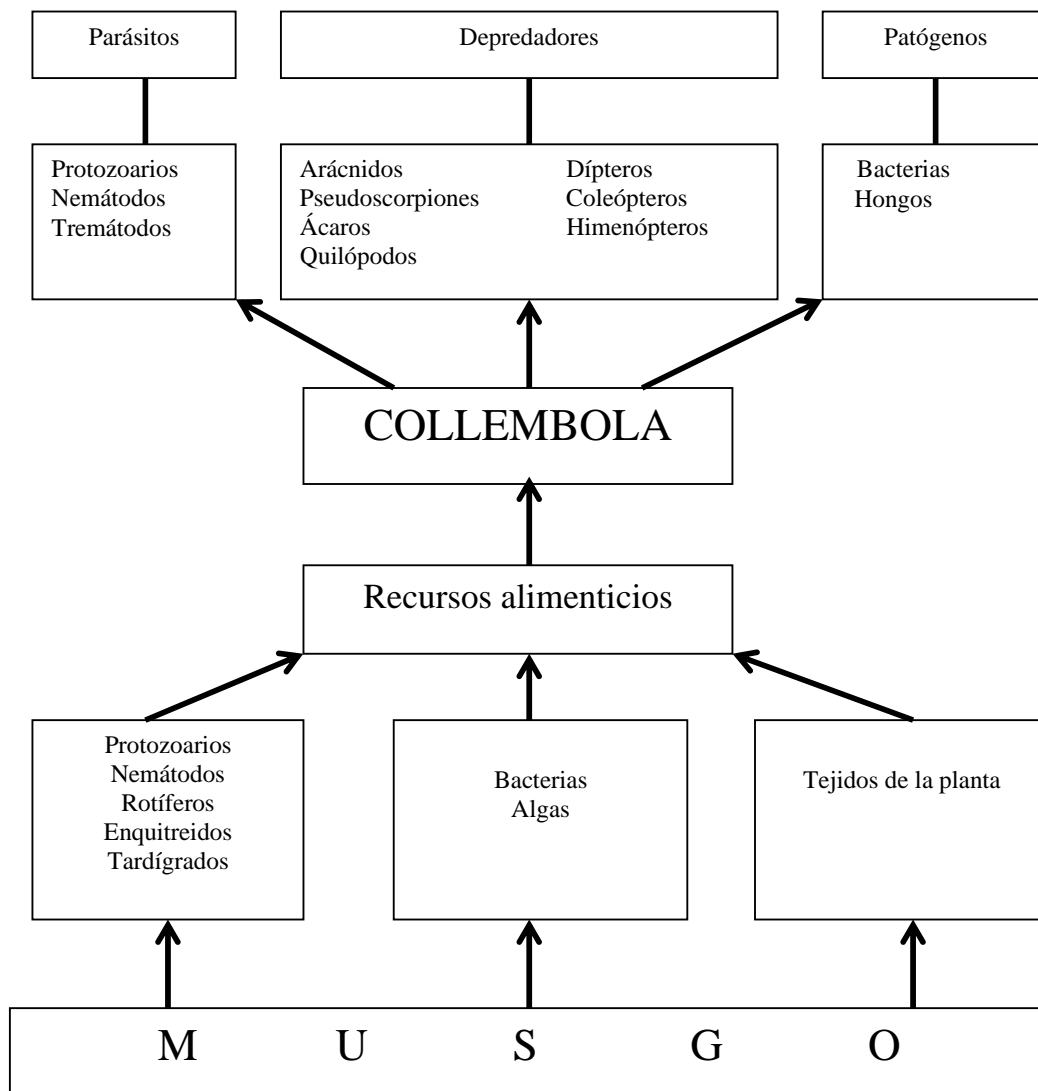


Figura 1. Trama trófica funcional de Collembola hacia otros organismos y sus recursos alimenticios, modificado de Rusek (1998).

1.7 Antecedentes

Las investigaciones realizadas sobre la estructura de la comunidad de Collembola de musgos edáficos y saxícolas se han enfocado en: a) conocer su riqueza específica, composición, diversidad y abundancia (De Izarra 1969; Bonet *et al.* 1970, 1972, 1975; Acón y Simón 1979; Acón 1982; Ardanaz y Jordana 1986a, b, c; Hoyle y Harborne 2005); b) determinar la variación espacial y temporal de sus comunidades (Villanueva y Jordana 1988; Andrew *et al.* 2003; Hoyle 2005; Hoyle y Harborne 2005); y c) reconocer el efecto de la contaminación del aire sobre los musgos, con el fin de establecer especies de ácaros y colémbolos que sirven como indicadores de contaminación (Steiner 1995).

Las investigaciones que se han realizado sobre el estudio de los musgos edáficos y saxícolas en general se han enfocado más por conocer la riqueza, composición y abundancia y muy poco se ha abordado sobre la variación espacial y temporal (Villanueva y Jordana 1988; Andrew *et al.* 2003; Hoyle y Harborne 2005).

En lo que respecta a la estructura de la comunidad de los colémbolos asociados a los musgos corticícolas se han orientado más al conocimiento de la riqueza de las especies, composición y abundancia como propiedades de la comunidad (Acón 1975; André 1983).

En México ha sido casi nula la lista de trabajos realizados para conocer la estructura de las comunidades de colémbolos asociados a los musgos corticícolas, los pocos trabajos que se conocen están más encauzados a dar a conocer la composición faunística de los artrópodos y microartrópodos vinculados con los terrícolas, saxícolas y epífitas.

Palacios-Vargas (1985) abordó el estudio taxonómico con aspectos ecológicos de las comunidades de microartrópodos altimontanos en musgos y líquenes epífitos,

dando a conocer la variación estacional de la abundancia de los ácaros oribátidos y de colémbolos.

Riverón (1985) estudió la artropodofauna asociada a musgos corticícolas en una localidad altimontana del estado de Morelos, haciendo énfasis en la composición, abundancia y variación estacional de los artrópodos en relación a la temperatura y humedad.

Ríos-Sais y Villavicencio-Becerril (1994) abordaron el estudio de los microartrópodos asociados a musgos saxícolas en la ciudad de México, enfocándose en conocer la riqueza y la abundancia de los colémbolos, ácaros Prostigmata, Mesostigmata y Astigmata.

Mejía-Recamier *et al.* (2003) abordaron el estudio de la composición y riqueza de artrópodos de musgos saxícolas y de corteza de cactus de los colémbolos y ácaros de Tolantongo, Hidalgo. Por último, en un trabajo previo (Cutz-Pool *et al.* 2005) dimos a conocer la diversidad y la abundancia de los colémbolos de musgos corticícolas en el Volcán Iztaccíhuatl.

1.8 Justificación

Dentro de las comunidades vegetales, los musgos constituyen un grupo de organismos que han propiciado la “aparición” de un microambiente muy interesante que ha sido estudiado desde el punto de vista ecológico (Velázquez y Fonseca 2003), en especial en lo que se refiere a la capacidad de los musgos para colonizar distintos tipos de suelos, sus patrones de sucesión (Delgadillo y Cárdenas 1990), así, como indicadores de contaminación atmosférica de origen industrial (Steiner 1995).

Los musgos promueven que se constituyan biocenosis particulares que contienen una fauna de invertebrados y en particular colémbolos, notoriamente típicos (Stach

1947), las que guardan estrechas relaciones con el medio y con la colonización de nuevas zonas (Gadea 1964; Usher y Booth 1984). Todos los aspectos anteriormente mencionados justifican su estudio. El conocimiento de las asociaciones faunísticas en musgos, a pesar de su importancia, han sido un aspecto con frecuencia relegado tanto por los ecólogos, como por los botánicos y los zoólogos.

El Parque Nacional Iztaccíhuatl posee una gran importancia desde el punto de vista florístico, ya que sus bosques están bien representados por *Quercus*, *Quercus-Abies*, *Abies*, y *Abies-Pinus* propios de los climas templados subhúmedos de México y por que los musgos son frecuentes en estos tipos de vegetación (Delgadillo 1998).

La ubicación del Parque Nacional Iztaccíhuatl lo hace muy interesante desde el punto de vista biogeográfico ya que se encuentra en la Cordillera Neovolcánica, donde confluyen las zonas Neártica y Neotropical. En esta área, la flora y la fauna tienen un alto grado de endemismos, representados por algunos grupos faunísticos relictuales y una cantidad considerable de especies nuevas para la ciencia.

Por lo anteriormente expuesto, el propósito del presente proyecto es conocer la distribución altitudinal (2,750-3,440 m) de los diversos géneros y especies de la clase Collembola de los musgos corticícolas en una parte del Volcán Iztaccíhuatl y entender la asociación que se establecen entre las distintas altitudes. Así mismo, el presente estudio aumentará el conocimiento sobre la biodiversidad de Collembola en México. El resultado representará una premisa indispensable para la realización de futuras investigaciones sobre el ecosistema muscícola.

Literatura citada

Acón, M. 1975. Colémbolos de musgos corticícolas del Valle de Hecho, Pirineo Aragonés. Nota I. *Graellsia*, 30: 173-186.

- Acón, M. 1982. Contribución al conocimiento de la flora muscícola de España en la relación con su población de microartrópodos. *Pirineos*, 117: 21-33.
- Acón, M. y J. C. Simón. 1979. Contribución al conocimiento de los Colémbolos muscícolas de la Sierra de Gredos. *Graellsia*, 33: 247-259.
- André, H. M. 1976. Introduction à l'étude écologique des communautés de microarthropodes corticoles soumises a la pollution atmosphérique. I. Les microhabitats corticoles. *Bulletin d'Ecologie*, 7: 331-444.
- André, H. M. 1983. Notes on the ecology of corticolous epiphyte dwellers. 2. Collembola. *Pedobiología*, 25: 271-278.
- André, H. y P. Lebrun. 1979. Quantitative comparison of the funnel and the brushing methods for extracting corticolous micro-arthropods. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 26: 252-256.
- André, H. M. y P. Lebrun. 1982. Effects of air pollution on corticolous microarthropods in the urban district of Charleroi (Belgium). *Urban Ecology*, 191-200.
- Andrew, N. y L. Rodgerson. 1999. Extracting invertebrates from bryophytes. *Journal of Insect Conservation*, 3: 53-55.
- Andrew, N., L. Rodgerson, y M. Dunlop. 2003. Variation in invertebrate-bryophyte community structure at different spatial scales along altitudinal gradients. *Journal of Biogeography*, 30: 731-746.
- Ardanaz, A. y R. Jordana. 1986a. Estudio ecológico sobre la fauna colembológica de las peñas de Echauri, Navarra. (Insecta, Collembola). I. Hayedo. *Actas de las VII Jornadas A e E*, 235-243.
- Ardanaz, A. y R. Jordana. 1986b. Estudio ecológico sobre la fauna colembológica de las peñas de Echauri, Navarra. (Insecta, Collembola). II. Encinar. *Actas de las VII Jornadas A e E*, 244-252.

- Ardanaz, A. y R. Jordana. 1986c. Estudio ecológico sobre la fauna colembológica de las peñas de Echauri, Navarra. (Insecta, Collembola). III. Prado-matorral. *Actas de las VII Jornadas A e E*, 253-260.
- Arlé, R. y A. E. Guimaraes. 1981. Nova especie saxicola do genero *Seira* Lubbock, 1869, do Rio de Janeiro (Collembola). *Revista Brasileira do Entomologie*, 25: 1-3.
- Badejo, M. A., T. O. Obilade y B. A. Olubakin. 1997. Spacial distribution and abundance of mites and springtails under different temperature and moisture regimes in a tropical rainforest floor. *Tropical Ecology*, 38: 31-38.
- Barry, R. G. 1981. *Mountain weather and climate*. Methuen. E.U.A. 313 pp.
- Bauer, T. 1985. Beetles which use a setal trap to hunt springtails (Collembola) of Eurasian polar deserts. *Russian Journal of Zoology*, 1: 177-184.
- Begon, M., Harper, J. L. y Townsend, C. R. 1990. *Ecology: Individuals, populations and communities*. Blackwell, Melbourne. 876 pp.
- Begon, M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 1996. *Ecology. Individuals, populations and communities*. Blackwell Science. Lombardia, Italia. 1068 pp.
- Berg, M. P., J. P. Kniese, J. J. M. Bedaux y H. A. Verhoef. 1998. Dinamics and stratification of funtional groups of micro and mesoarthropods in the organic layer of a Scot pine forest. *Biology and Fertility of Soils*, 26: 268-284.
- Bonet, L., P. Cassagnau y D. C. de Izarra. 1970. Etude écologique des Collemboles muscicoles du Sidobre (Tarn). II. Modèle mathématique de la distribución des espèces sur un rocher. *Bulletin de la Société D'Histoire Naturelle de Toulouse*, 106: 127-145.

- Bonet, L., P. Cassagnau y D. C. de Izarra. 1972. Étude écologique des Collemboles muscicoles du Sidobre (Tarn). III. Répartition des especès en fonction des biotopes. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 1: 263-279.
- Bonet, T., P. Cassagnau y J. Travé. 1975. L'Écologie des arthropodes muscicoles à la lumière de l'analyse des correspondences: Collemboles et Oribates de Sidobre (Tarn, France). *Oecologia*, 21: 359-373.
- Brown, J. H. 1988. Species diversity. pp. 57-89. In: A. A. Myers y P. S. Giller (eds.). *Analytical biogeography, an integrated approach to the study of animal and plant distribution*. Chapman and Hall. Nueva York, E. U. A.
- Brown, J. H. y A. C. Gibson. 1983. *Biogeography*. C. V. Mosby. San Luis, E. U. A.
- Christiansen, K. 1992. Springtails. *The Kansas School Naturalist*, 9: 147-178.
- Cutz-Pool, L. Q., J. G. Palacios-Vargas y M. M. Vázquez. 2003. Comparación de algunos aspectos ecológicos de Collembola en cuatro asociaciones vegetales de Noh-Bec, Quintana Roo, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 4: 91-101.
- Cutz-Pool, L. Q., J. G. Palacios-Vargas y G. Castaño-Meneses. 2005. Diversidad y abundancia de colémbolos de musgos corticícolas en el Volcán Iztaccíhuatl (otoño 2003). *Entomología Mexicana*, 4: 171-175.
- Cutz-Pool, L. Q., J. G. Palacios-Vargas, G. Castaño-Meneses y N. E. García-Calderón. 2007. Edaphic Collembolla from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, Mexico. *Applied Soil Ecology*, 36: 46-52.
- De Izarra, D. C. 1969. Étude écologique des Collemboles muscicoles du Sidobre (Tarn). I. Le milieu et sa faune. *Reveu D'Écologie et de Biologie du Sol*, 6: 447-460.
- Delgadillo, M. C. 1998. Diversidad de la brioflora mexicana. Pp. 355-368. In: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (Comps.). *Diversidad biológica de*

- México. *Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México, D. F., México.
- Delgadillo, M. C. 2003. Patrones biogeográficos de los musgos de México. Pp. 195-198. In: J. J. Morrone y J. Llorente-Bousquets (eds.). *Una perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía*, Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D. F., México.
- Delgadillo, M. C. y M. A. Cárdenas-S. 1990. *Manual de briofitas*. Cuadernos del Instituto de Biología No. 8. UNAM, México, D. F., México. 135 pp.
- Diamond, J. y T. J. Case. 1986. *Community ecology*. Harper and Row Pub, Nueva York, E. U. A. 665 pp.
- Faber, J. H., Joosse E. N. G. 1993. Vertical distribution of Collembola in a *Pinus nigra* organic soil. *Pedobiologia*, 37: 336-350.
- Franks, A. J. y D. M. Bergstrom. 2000. Corticolous bryophytes in microphyll Fern Forests of South-East Queensland: distribution on Antarctic bech (*Nothofagus moori*). *Austral Ecology*, 25: 386-397.
- Gadea, E. 1964. La zoocenosis muscícola en los biotopos altimontanos. *Publicaciones Instituto de Biología Aplicada*, 36: 113-120.
- Gentry, A. H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75: 1-34.
- Gerson, U. 1969. Moss-arthropod association. *Bryologist*, 72: 495-500.
- Groombridge, 1992. *Global diversity: status of the Earth's living resources*. Chapman and Hall. Londres, Inglaterra.
- Hagvar, S. 1983. Collembolan in Norwegian coniferous forest soils. II. Vertical distribution. *Pedobiologia*, 25: 383-401.

- Hassall, M., S. Viser y D. Parkinson. 1986. Vertical migration of *Onychiurus subtenuis* in relation to rainfall and microbial activity. *Pedobiologia*, 29: 175-182.
- Hodkinson, I. D. 2005. Terrestrial insect along elevation gradients: species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, 80: 489-513.
- Holloway, J. D., G. S. Robinson y K. R. Tuck. 1990. Zonation in the Lepidoptera of Northern Sulawesi. Pp. 153-166. *In*: Knight, W. J. y J.D. Holloway (eds.). *Insects and the rain forest of South East Asia (Wallacea)*. Royal Entomological Society of London. Londres, Inglaterra.
- Holloway, J. D. y N. E. Stork. 1991. The dimension of biodiversity: The use of invertebrates as indicator of human impact. Pp. 37-62. *In*: D. L. Hawksworth (ed.). *The biodiversity of microorganism and invertebrates: Its role in sustainable agriculture*. CAB International, Wallingford
- Hopkin, S. P. 1997. *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press, 330 pp.
- Hoyle, M. 2005. Experimentally fragmented communities are more aggregated. *Journal of Animal Ecology*, 74: 430-442.
- Hoyle, M. y A. R. Harborne. 2005. Mixed effects of habitat fragmentation on species richness and community structure in a microarthropod microecosystem. *Ecological Entomology*, 30: 684-691.
- Janetschek, H. 1967. Arthropod ecology of South Victoria Land. Pp. 205-293. *In*: Gressit, J. L. (Ed.). *Entomology of Antarctica*. Washington, D. C. U. S. A.
- Janzen, D. H. 1981. The peak in North American Ichneumonid species richness lies between 381/4 and 421/4N. *Ecology*, 62: 532-537.

- Johnston, J. M. 2000. The contribution of microarthropods to aboveground food webs: a review and model of belowground transfer in a coniferous forest. *The American Midland Naturalist*, 143: 226-238.
- Krebs, C. J. 1985. *Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia*. Harla México, D. F. 753 pp.
- Lobo, J. M. y G. Halffter. 2000. Biogeographical and ecological factors affecting the altitudinal variation of mountainous communities of coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabeoidea): a comparative study. *Annals of the Entomological Society of America*, 93: 115-126.
- MacArthur, R. H. 1972. *Geographical ecology*. Harper and Row Pub., Nueva York, E. U. A.
- Matteri, M. C. 1998a. La Diversidad Briológica (o sobre cómo y por qué proteger los musgos). *Ciencia Hoy*, 8: 1-2
- Miller, A. A. 1957. *Climatología*. Omega, Barcelona, España. 376 pp.
- Mejía-Recamier, B. E., C. Maldonado-Vargas y L. Q. Cutz-Pool. 2003. Estudio exploratorio de los artrópodos en dos biotopos: musgo (*Polytrichum* sp.) y órgano (*Cephalocereus* sp.) en Tolantongo, Hidalgo. *Entomología Mexicana*, 2: 268-274.
- Palacios-Vargas, J. G. 1985. Microartrópodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colémbolos). Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México., México, D. F., México. 132 pp.
- Palacios-Vargas, J. G., D. A. Estrada y J. Paniagua. 2004. Collembola. Pp. 271-281. In: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las Prensas de Ciencias, México, D. F., México.

- Patterson, P. M. 1940. Corticolous bryophyte societies at mountain lake, Virginia. *The American Midland Naturalist*, 23: 421-441.
- Ponge, J. F. 1980. Les biocénoses des Collemboles de la forêt de Sénart. Pp. 151-176. In: Pesson, P. (ed.) *Actualités d'écologie forestière*. Gautheir-Villars, Paris, Francia
- Ponge, J. F. 1999. Interaction between soil fauna and their environment. Pp. 45-76. In: Rastin, N. y J. Baumus (eds.). *Going underground. Ecological studies in forest soil*. Reseach Sogapost, Trivondrun, India.
- Prinzing, A. 2005. Corticolous arthropods under climate fluctuations: compensation is more important than migration. *Ecography*, 28: 17-28.
- Pryor, M. E. 1962. Some environmental features of Hallet Station, Antarctica, with special reference to soil arthropods. *Pacific Insects*, 4: 681-728.
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 18: 200-205.
- Rahbek, C. 1997. The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. *American Naturalist*, 149: 875-902.
- Richter, M. y A. Moreira-Muñoz. 2005. Heterogeneidad climática y diversidad de la vegetación en el sur de Ecuador: un método de fitoindicación. *Revista Peruana de Biología*, 12: 217-238.
- Ríos-Sais, G. A. y R. Villavicencio-Becerril. 1994. Microartrópodos asociados a musgos en Contreras, México, D. F. *III Simposio de Zoología y II Congreso Latinoamericano de Teriología*, La Habana, Cuba. p. 70.
- Riverón, G. R. 1985. Conocimiento de la artropodofauna asociada a musgos en la localidad altimontana del Estado de Morelos, México. Tesis profesional.

- Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 246 pp.
- Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207-1219.
- Stach, J. 1947. The Apterygotan fauna Poland in relation to the World-fauna of this group of insects: Family: Isotomidae. *Acta Monographica Musei Historiae Naturalis*, pp. 1-488.
- Smrz, J. 1992. The ecology of the microarthropod community inhabiting the moss cover of roofs. *Pedobiologia*, 36: 331-341.
- Steiner, W. A. 1995. Influence of air pollution on moss-dwelling animals: 3. Terrestrial fauna, with emphasis on oribatida and Collembola. *Acarologia*, 36: 149-173.
- Stevens, G. C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapport's latitudinal rule to altitud. *American Naturalist*, 140: 893-911.
- Stork, N. E. y M. J. D. Brendell. 1990. Variation in the insect fauna of Sulawesi trees with season, altitude and forest type. Pp. 173-190. In: Knight, W. J. y J.D. Holloway (eds.). *Insects and the Rain Forest of South Asia (Wallacea)*. Royal Entomological Society of London, Londres, Inglaterra.
- Takeda, H. 1978. Ecological studies of collemboles populations in a pine forest soil. II. Vertical distribution of Collembola. *Pedobiologia*, 18: 22-30.
- Takeda, H. 1995. Changes in the collemboles community during the decomposition of needle litter in a coniferous forest. *Pedobiologia*, 39: 304-317.
- Usher, M. B y R. G. Booth. 1984. Arthropod communities in a maritime Antarctic moss-turf habitat: multiple scale of pattern in the mites and Collembola. *The Journal of Animal Ecology*, 55: 155-170.

- Velázquez-Montes, E. y R. M. Fonseca. 2003. *Manual de prácticas de campo, Briofitas, Pteridofitas y Gimnospermas*. Las prensas de Ciencias. México. D. F., México. 76 pp.
- Villani, M. G., L. L. Allee, A. Díaz, y P. S. Robbins. 1999. Adaptive strategies of edaphic arthropods. *Annual Review of Entomology*, 44: 233-256.
- Villanueva, F. y R. Jordana. 1988. Estudio de la fauna colembológica muscícola de cinco comunidades del género *Quercus* en Navarra, España. Pp. 597-606. *Actas III Congreso Ibérico de Entomología*. Granada, España.
- Whittaker, R. H. 1975. *Communities and ecosystems*. Macmillan Publishing Co., Inc. Nueva York, E. U. A. 385 pp.
- Woda, C., A. Huber y A. Dohrenbusch. 2006. Vegetación epífita y captación de neblina en bosque siempre verde en la Cordillera Pelada, sur de Chile. *Bosque*, 27: 231-240.
- Wolda, H. 1987. Altitude, habitat and tropical insect diversity. *Biological Journal of the Linnean Society*, 30: 313-323.
- Wolf, J. H. D. 1993. Diversity patterns and biomass of epiphytic bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in the Northern Andes. *Annals of the Missouri Botanical Gardens*, 80: 928-960.
- Wolters, V. 1983. Ökologische untersuchungen an collembola ienes buchenwaldes auf kalk, *Pedobiologia*, 25: 73-85.

2. Objetivos de la tesis

El objetivo general de este trabajo es determinar el efecto que tiene un gradiente altitudinal sobre la estructura de las comunidades de colémbolos asociados a musgos corticícolas en la vertiente noroeste en el volcán Iztaccíhuatl.

Los objetivos particulares, derivados del anterior son:

- 1.- Conocer la diversidad taxonómica de Collembola asociados a musgos corticícolas que habitan en el volcán Iztaccíhuatl.

- 2.- Conocer la abundancia y diversidad de colémbolos asociados a los musgos corticícolas.

- 3.- Conocer las asociaciones de las especies de Collembola entre los hábitats estudiados a diferentes altitudes.

- 4.- Determinar la variación estacional (secas y lluvias) en la estructura de la comunidad de colémbolos que se encuentran en los musgos corticícolas.

3. Las hipótesis formuladas son las siguientes:

La altitud es un factor determinante en la estructura de las comunidades biológicas, y se ha encontrado que en la mayoría de los casos, existe una relación inversamente proporcional entre este factor y la riqueza, abundancia y diversidad (Stevens 1992; Rahbek 1995). Considerando esto:

1. Se espera que la riqueza, la densidad y la diversidad de la comunidad de colémbolos disminuyan conforme se incremente la altitud, debido a la dificultad por subsistir en un medio en donde las condiciones climáticas son más frías.

2. La fauna de colémbolos cambiará de un piso altitudinal a otro debido a los requerimientos climáticos de cada grupo de colémbolos asociados a los musgos corticícolas. En este sentido, se espera encontrar una fauna más similar en los musgos localizados en un mismo piso altitudinal que en musgos ubicados en las distintas altitudes.

La humedad es un factor que afecta marcadamente el comportamiento y la supervivencia de los colémbolos, así como al tamaño de sus poblaciones (Verhoef y van-Selm 1983; Mendoza-Arviso *et al.* 1999; Prieto-Trueba *et al.* 1999; Guillen *et al.* 2006). Por lo que:

3. En la zona de estudio se puede apreciar una estacionalidad evidente, y se espera que las comunidades de colémbolos respondan en un aumento en la riqueza y densidad a estos cambios estacionales, viéndose favorecidos los colémbolos en la temporada de lluvias.

4. ZONA DE ESTUDIO

4.1 Área de estudio

El Volcán Iztaccíhuatl, se sitúa a 64 km al Sureste de la ciudad de México (Fig. 2), cerca del extremo sur de la Sierra Nevada, considerada la sexta elevación en Norteamérica en lo que a altitud se refiere, y tercera cumbre de México con 5,230 m snm. Geográficamente, su cumbre mayor está situada a 19° 10' 20" N y 98° 38' 30" W (Montero 2000b). Junto con el Popocatepetl forman el Parque Nacional Izta-Popo (Fig. 2), el cual comprende 25,675 ha (López 1995). Este sitio tiene una edad entre los 13 y 30 millones de años, y es claro que es el volcán más viejo del Eje Neovolcánico (Barrera 1968) comparado con el Popocatepetl, el cual cuenta con 30 mil años aproximadamente (Montero 2000b).

El Iztaccíhuatl presenta una zona de glaciación alpina la cual se ubica en la cumbre entre 5,462 y 4,500 m s.n.m. (Barrera 1968). Posteriormente existe una zona de intemperismo, entre los 4,500 y 4,050 m s.n.m, donde la vegetación esta constituida por líquenes y zacatonales cerrados. Por debajo existe una zona de erosión fluvial, entre 4,050 y 3,450 m s.n.m, que se caracteriza por estar cubierta de coníferas y abundantes pastos bajos que protegen los suelos y les proporcionan humedad. Le sigue un área de intensa erosión ubicado entre los 3,450 y 2,500 m s.n.m, donde el volumen de precipitación aumenta y la erosión se incrementa por las fuertes pendientes, donde se desarrollan los denominados bosques mixtos de alta montaña semihúmedos y subhúmedos, situados en el nivel de la zona de niebla (Montero 2000a) (Fig. 3).

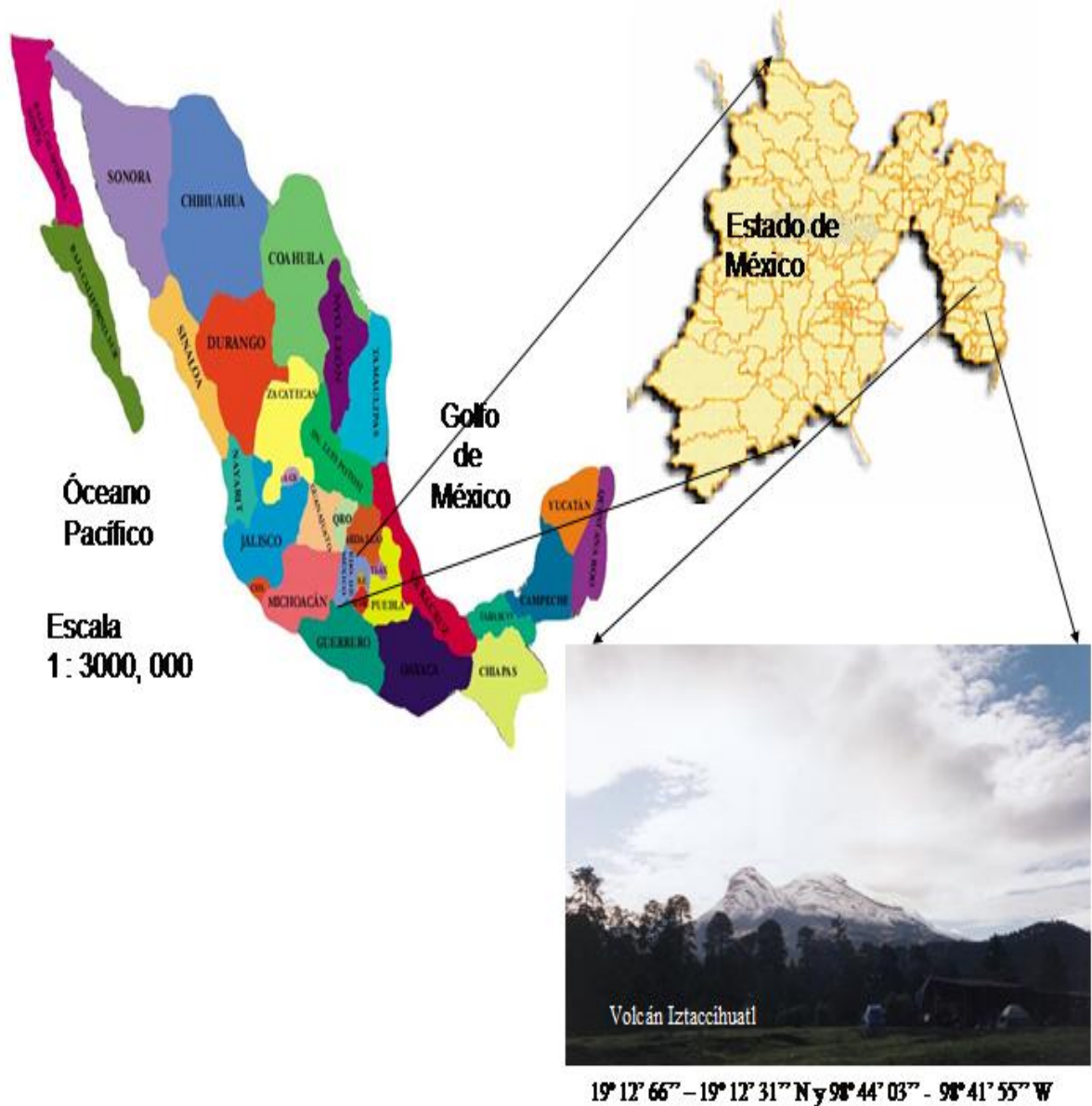


Figura 2. Ubicación del Volcán Iztaccíhuatl en el estado de México. Mapa de la República Mexicana; Fuente Geocites 2001. Fecha de consulta 30-04-2008.

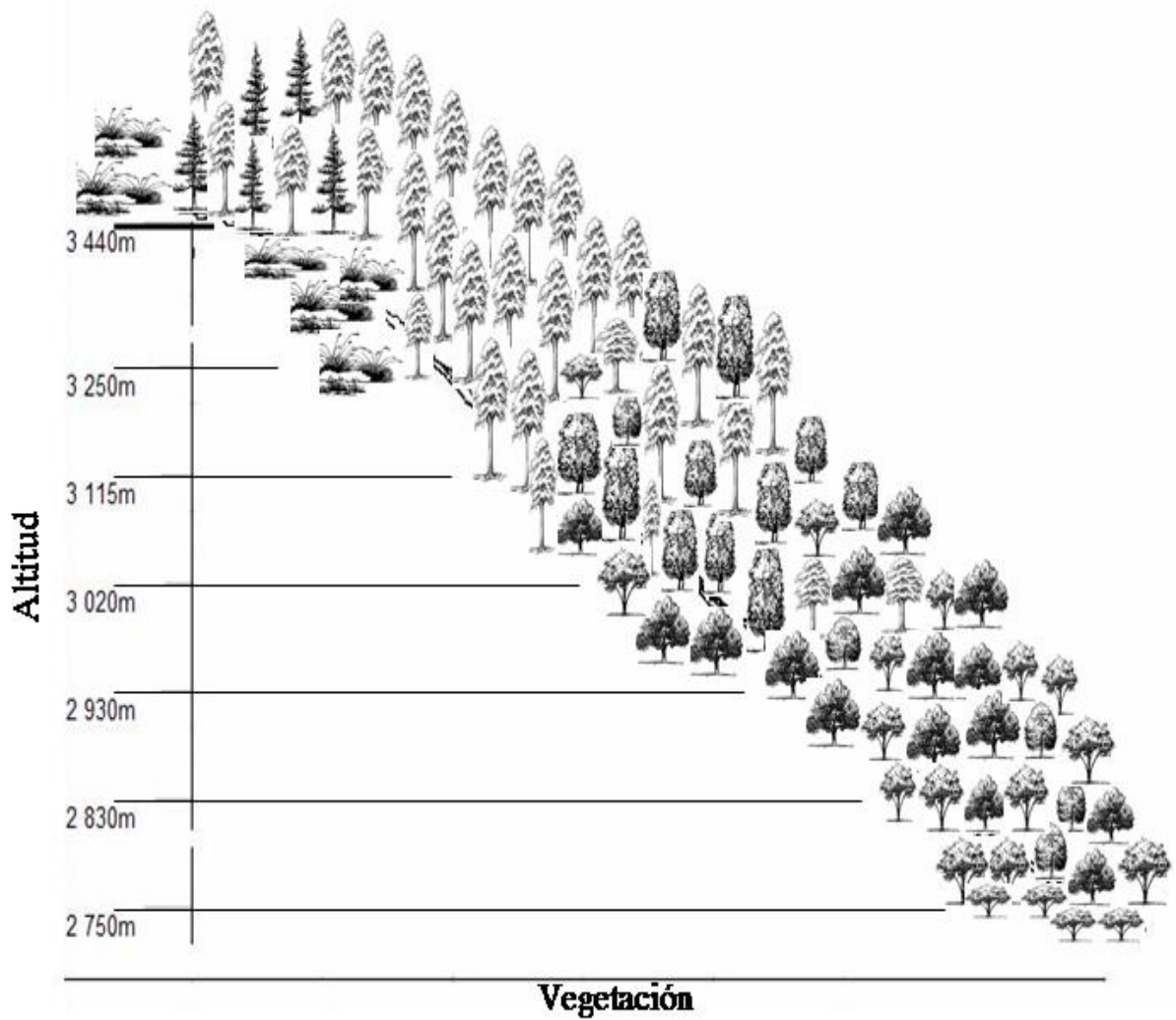


Figura 3.- Perfil de las comunidades vegetales presentes en la vertiente noroeste del Volcán Iztaccíhuatl (2, 750 – 2 930 m, bosque de *Quercus*; 3 020–3250 m, bosque de *Abies* y 3 440 m Bosque de *Abies* y *Pinus*).

4.2 Edafología

Entre los tipos de suelos que se pueden encontrar en el Volcán Iztaccíhuatl de acuerdo con el sistema de clasificación de suelos de la FAO (1970), modificado para México por la DGG (1983), consisten en asociaciones de andosol húmico, regosol eútrico y leptosol lítico. Los suelos en el Iztaccíhuatl son considerados profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica (8.0–15.0%) y húmedos (Anaya *et al.* 1980; Aguilera 1989). Por su origen, contienen cenizas volcánicas de tipo basáltico, andesítico y riolítico (Cortés *et al.* 1966; Aguilera 1989; Nixon 1989), como resultado de la topografía de dicha zona.

4.3 Hidrología

La zona forma parte de la subcuenca del río de la Compañía, se encuentra cubierta por nueve arroyos, un lago y siete acueductos. Las corrientes se inician desde la zona del parteaguas. La fusión del arroyo del Marrano (4,600 m s.n.m.), que después adquiere el nombre de cañada de Tlaconexpa con la cañada El Obrador, da lugar a la cañada Cosa Mala, una barranca ancha de 150 a 250 m. de profundidad con paredes rocosas casi verticales, El canal El Negro, en el origen de la barranca del mismo nombre y de los manantiales que nacen en La Peña, junto con el caudal de la cañada Cosa Mala, posteriormente se fusionan con el arroyo Agua Dulce. Parte de las aguas de los manantiales de La Peña se almacenan y se canalizan para abastecer de agua potable al municipio de Tlalmanalco. La cañada de Nahualac o arroyo Tlalmanalco, nace de los deshielos del glaciar Ayolotepito, sigue su curso, reuniéndose a los 2,300 m s.n.m. con las cañadas El Negro y La Ratonera, para dar lugar a la cascada de los Diamantes, de 144 m de altura. En las afueras del poblado de San Rafael, donde se conoce como arroyo de Agua Dulce, sus aguas se canalizan por un acueducto que llega hasta Tlalmanalco.

4.4 Clima

El clima de la zona corresponde a un templado subhúmedo con lluvias en verano, Cb (Cw)(w) (Vidal-Zepeda 2005), con una variación de la temperatura media anual entre 3° y 18° C; y con una precipitación promedio anual de 1,200 mm (García 2004). Existen fluctuaciones climáticas las cuales se deben principalmente a la influencia de la orografía del lugar. La niebla y el rocío son frecuentes, persistentes y en ocasiones se presentan nevadas en las partes altas (García 1968). A medida que se asciende por las laderas del volcán, las temperaturas disminuyen aproximadamente 1°C por cada 100 m de aumento en altitud, dependiendo del grado de saturación de la humedad del aire (García 1968). Existe un periodo de lluvia y secas que están muy bien definidos, las primeras precipitaciones se observan en el mes de mayo, prolongándose hasta octubre, en este periodo se acumula el 92% de la precipitación anual, presentándose algunas precipitaciones menores en invierno entre los meses de noviembre-marzo (García 2004; Fig. 4).

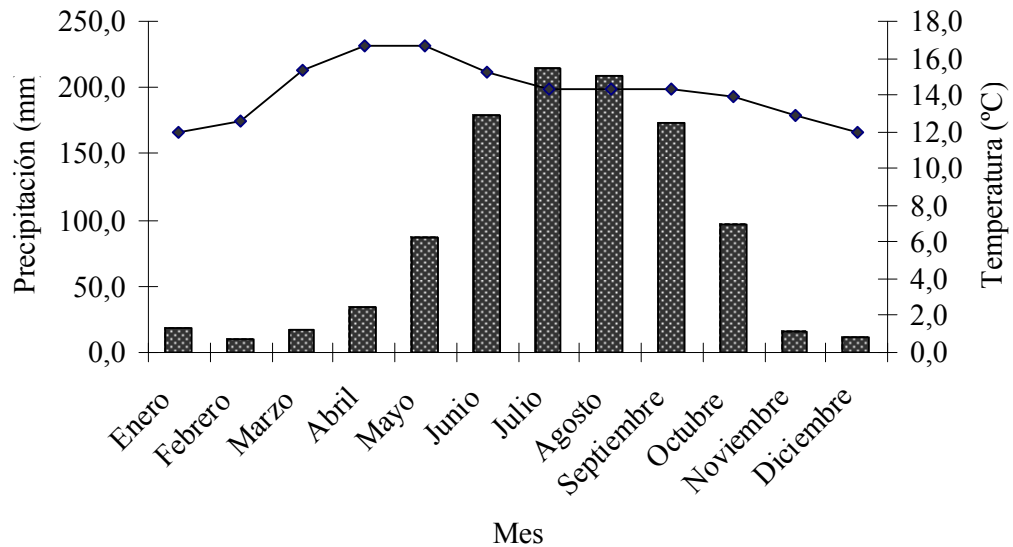


Figura 4. Climograma correspondiente a la parte noroeste del Iztaccíhuatl. Datos promedio de 74 años (1921-1995) (García 2004) de la estación pluviométrica San Rafael, Estado de México

4.5 Vegetación

El tipo de vegetación que se puede encontrar en el área de estudio es típico de las zonas templadas (Rzedowski 1994). Para esta área se identificó la siguiente vegetación: bosque de encino conjuntado con encinos arbustivos. El bosque está constituido en su mayor parte por la especie arbórea *Quercus laurina* Humb et Bonpl, denominando al tipo de vegetación acompañada por el árbol *Salix paradoxa* Kunth y del arbusto *Garrya laurifolia* Hartw, distribuidas entre los 2,750 y los 2,930 m s.n.m. (Romero *et al.* 2002; Sánchez-González y López-Mata 2003; Ponce com. pers). En el estrato herbáceo se encuentran *Brachypodium mexicanum* (Roem & Schutt) Link, *Festuca rosei* Piper y *Sedum moranense* Kunth (Ponce, com. pers.). En cuanto a la vegetación muscícola se encontró representada por *Neckera chlorocaulis* C, Muller, *Rhynchostegium pulchellum*

(Hedw) Robins y *Brachythecium ruderale* W. R. Buck, entre otros (C., com. pers.; Delgadillo 1971, 1987, 2004).

Entre los 3, 020 y los 3, 250 m s.n.m. el tipo de vegetación está conformada por un bosque de *Abies religiosa* (HBK) Schltdl et Cham, donde también se encuentran elementos de *Pinus hartwegii* Lindl, *S. paradoxa* y *Q. laurina* (Rzedowski 1994; Sánchez-González y López-Mata 2003; Sánchez-González *et al.* 2005; P., com. pers). Para estas altitudes en el estrato arbustivo se registran *Buddleia parviflora* Kunth, *Salvia fulgens* Cav. y *S. gesneriflora* Lindl et Paxton. Entre las herbáceas se encuentran *Brachypodium mixicanum* link, *Festuca amplissima* Rupro, *Stevia monardifolia* H. B. & K. y *Stellaria cuspidata* Willd (Sánchez-González y López-Mata 2003; P., com. pers). En lo que respecta a la flora muscícola se registran: *Neckera chlorocaulis* Sull & besq, *Rozea andrieuxii* Bescherelle, *Campyliadelphus chrysophyllus* (Bird) R. S. Chopra, *Rhynchostegium serrulatum* (Hedwig) Jacger, *Brachythecium ruderale* (Bird) W. R. Buck, *Leptodontium flexifolium* (Dickson) Hampe y *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Morgad, siendo esta última la más abundante (Delgadillo y Cárdenas 1990, Delgadillo 1971, 1987, 1998, 2004; C., com. pers.).

A los 3, 440 m s.n.m. se encontró el bosque de pino cuya especie más importante en el estrato arbóreo está *Pinus hartwegii*, aunque como esta altitud constituye el límite inferior para este tipo de vegetación (Beaman 1962; Ávila-Bello y López-Mata 2001) se observa que está asociada con *A. religiosa*, *Q. magnifolia* Nee, *Q. laurina* y *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Cundl (Rzedowski 1994; P., com. pers.). En cuanto a los arbustos se encuentran *Acaena elongata* L., *Senecio angulifolius* DC, y *S. cinerarioides* H. B. & K. (Sánchez-González y López-Mata 2003; García-Romero 2004; P., com. pers.). Las hierbas registradas en esta altitud son *Lupinus montanus* H. B. & K., *Penstemon gentianoides* Lindl, *Cinna paiformis* (Kunth) Scribn. And Merr. y *Oxalis alpina* Rose

(Sánchez-González y López-Mata 2003; García-Romero 2004: P., com. pers.). La flora muscícola para esta altitud lo constituyó únicamente *Leptodontium viticulosoides* (P. Beav) Wijk & Morgad (Delgadillo 1971, 1987, 1998, 2004; Delgadillo y Cárdenas 1990; Rzedowski 1994; C., com. pers.).

4.6 Literatura citada

- Aguilera, H. N. 1989. Tratado de edafología de México. Tomo I. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 222 pp.
- Anaya, L., M. L., R. Hernández S. y X. Madrigal S. 1980. *La vegetación y los suelos de un transecto altitudinal del declive occidental del Iztaccíhuatl* (México), Boletín Técnico 65. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F.
- Ávila-Bello, C. H. y L. López-Mata. 2001. Distribución y análisis estructural de *Abies hickelii* (Flous & Gausson) en México. *Interciencia*, 26: 244-251.
- Barrera, A. 1968. Distribución cliseral de los Siphonaptera del Volcán Popocatepetl, su interpretación biogeográfica. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoología*, 1:35-100.
- Beaman, J. H. 1962. The timberlines of Iztaccíhuatl and Popocatepetl, México. *Ecology*, 43: 377-385.
- Cortés, L. A., G. León y R. Hernández. 1966. Suelos derivados de rocas y cenizas volcánicas andesíticas de la zona oriental del Iztaccíhuatl. *Agrociencia*, 1: 143-153.
- Delgadillo, M. C. 1971. Phytogeographic studies on Alpine mosses of Mexico. *The Bryologist*, 74: 331-346.
- Delgadillo, M. C. 1987. Moss distribution and the phytogeographical significance of the Neovolcanic Belt of Mexico. *Journal of Biogeography*, 14: 69-78.

- Delgadillo, M. C. 1998. Diversidad de la brioflora mexicana. Pp. 355-368. *In*: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (Comps.). *Diversidad Biológica de México, orígenes y distribución*, Instituto de Biología, UNAM, México, D. F.
- Delgadillo, M. C. 2004. Musgos. Pp. 127-135. *In*: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinoza (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las prensas de Ciencias, UNAM, México, D. F.
- Delgadillo, M. C. y M. A. Cárdenas-S. 1990. *Manual de briofitas*. Cuadernos del Instituto de Biología No. 8. UNAM, México. 135 pp.
- DGG. 1983. Cartas edafológicas, Escala 1:50,000. INEGI-SPP, México.
- García, E. 1968. *Los climas del Valle de México*. Colegio de Posgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Estado de México. 63 pp.
- García, E. 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México. 252 pp.
- García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 90 pp.
- García-Romero, 2004. Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl, México. *Interciencia*, 29: 604-611.
- Guillen, C., F. Soto-Adames y M. Springer. 2006. Variables físicas, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de colémbolos en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 30: 19-29.
- López, L. A. 1995. http://iztapopo.conanp.gob.mx/ubic_geog
- Mendoza-Arviso, S., F. J. Villalobos, L. Ruíz-Montoya y A. E. Castro-R. 1999. Patrones ecológicos de los colémbolos en el cultivo de Maíz en Balun Canal, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 78: 83-1001.

- Montero, G. I. 2000a. Los volcanes símbolos de México <http://www.arts-history.mx/volcan/apend.htm>
- Montero, G. I 2000b. <http://www.montero.org.mx/iztaccihuatl.htm>
- Nixon, G. 1989. *The geology of Iztaccihuatl volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of México*. Special Paper 219. The Geological Society of America. Boulder, Colorado, E. U. A. 58 pp.
- Prieto-Trueba, D., Ma. M. Vázquez-González y C. Rodríguez-Aragónés. 1999. Comunidad de la mesofauna edáfica en una selva baja inundable de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, 47;
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern?. *Ecography*, 18: 200-205.
- Romero, R. S., E. C. Rojas-Zenteno y M. L. Aguilar-Enríquez. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89: 551-593.
- Rzedowski, J. 1994. *Vegetación de México*. Limusa, México, D. F. 432 pp.
- Sánchez-González, A y L. López-Mata. 2003, Clasificación y ordenamiento de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 74: 47-71.
- Sánchez-González, A., L. López-Mata y D. Granados-Sánchez. 2005. Semejanza florística entre los bosque de *Abies religiosa* (H.B.K) Cham, & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 56: 62-76.
- Stevens, G. C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *The American Naturalist*, 140: 893-911.

- Vargas Márquez, F. 1984. *Parques Nacionales de México y reservas equivalentes*. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. México, D. F. 266 pp.
- Verhoef, H. A y A. J. van Selm. 1983. Distribution and population dynamics of Collembola in relation to soil moisture. *Holarctic Ecology*, 6: 387-394.
- Vidal-Zepeda, R. 2005. *Las regiones climáticas de México*. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 212 pp.

5. Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en musgos cortícolas en un gradiente altitudinal de un bosque templado subhúmedo

(*en prensa*; Revista de Biología Tropical / International Journal of Tropical Biology and Conservation, 58: junio de 2008)

Cutz-Pool, Leopoldo Q., José G. Palacios-Vargas y Gabriela Castaño-Meneses.

Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. 04510 México, D. F. Tel. 56 22 49

02 Fax: 56 22 48 28; cutzpool@yahoo.com

Abstract: The structure of the community of moss springtails on oak and firs barks in the forests at the NW slope of Iztaccíhuatl Volcano, State of Mexico is given. The study included four samplings (November 2003, and March, June and August 2004), carried out in three altitudes I: 2,750 m, II: 2,930 and III: 3,250 m a.s.l. Calculated indexes were: species richness (S), Shannon-Wierner diversity index (H'), Pielou's evenness index (J') and Simpson dominance (λ). An ANOVA of two way test was used to evaluate the effect of altitude and sampling date on the total density of the springtails. The total number of species was of 24 (altitude I = 17, altitude II = 14, altitude III = 13). The greatest density was at the altitude III and the highest species richness at altitude I. *Americabrya arida* and *Willowsia mexicana* were the dominant species and there is a positive significant effect of the high altitude on their density. The highest similarity between the communities, in agreement with the index of similarity of Sørensen, was 59% shown between the altitudes II and III.

Key words: moss, Collembola, diversity, abundance, Iztaccíhuatl.

Por sus características, los musgos han despertado el interés de los investigadores, a fin de entender y explicar sus habilidades para colonizar distintos tipos de suelos, sus patrones de sucesión (Delgadillo y Cárdenas 1990), así como su importancia por ser indicadores de contaminación atmosférica de origen industrial (Steiner 1995).

Los musgos constituyen una biocenosis particular, que contiene una fauna de invertebrados típica, entre ellos destacan los colémbolos (Acón 1975, Acón y Simón 1979, Acón 1982, Villanueva y Jordana 1988, Smrz 1992, Andrew y Rodgeron 1999, Andrew *et al.* 2003, Hoyle y Harborne 2005). De tal forma, los musgos también constituyen un microambiente particular, y la biota que los habita presenta características especiales, aunque han sido poco estudiados desde el punto de vista ecológico.

Los microartrópodos asociados a musgos han sido estudiados por distintos autores (P. ej. Gadea 1964, de Izarra 1969, Gerson 1969, Bonet *et al.* 1975, Hoyle y Harborne 2005) y, en particular sobre los colémbolos muscícolas, se tienen los trabajos de Bonet *et al.* (1970, 1972), Acón (1975), Arlé y Guimaraes (1981), Palacios-Vargas (1985), Riverón (1985), Ríos-Saís y Villavicencio-Becerril (1994), Mejía-Recamier *et al.* (2003), Cutz-Pool *et al.* (2005) y Hoyle y Harborne (2005), entre otros.

Entre las características físicas y químicas que permiten el establecimiento de los musgos corticícolas, se encuentra el porcentaje de humedad absorbida por los árboles, la intensidad de la luz recibida, la temperatura del aire, el pH de la corteza, la talla del árbol, la rugosidad de corteza, la inclinación del árbol y la altitud. Todos estos factores determinan la distribución espacial de los musgos, y constituyen la complejidad de los microhábitats. En particular el contenido de humedad de la corteza y el pH, constituyen dos factores de gran relevancia para el desarrollo de las comunidades de musgos

mésicos y xéricos (Patterson 1940, Franks y Bergstrom 2000, Prinzing 2005). El microhábitat que constituyen los musgos corticícolas ha sido frecuentemente ignorado en diversos estudios. Por lo que se tiene muy poca información de las comunidades asociadas a este ambiente, así como de las interacciones que en ellas se establecen (Bonet *et al.* 1972, Acón 1975, André 1976, 1983, André y Lebrun 1979, Villanueva y Jordana 1988).

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar el efecto de la altitud y de la temporada de muestreo, sobre la estructura de la comunidad de colémbolos en musgos corticícolas, en un bosque templado subhúmedo del Volcán Iztaccíhuatl. Existen tendencias sobre un decremento en la diversidad y riqueza de especies con respecto a la altitud (Pianka 1966, Wolda 1987). Nuestra hipótesis es, que a mayor altitud, se encontrará una menor diversidad y riqueza de especies, siendo diferente la estructura de la comunidad para cada altitud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El estudio se realizó en el Volcán Iztaccíhuatl ($19^{\circ} 12' 66''$ - $19^{\circ} 12' 31''$ N y $98^{\circ} 44' 03''$ - $98^{\circ} 41' 55''$ W), localizado a 64 Km al SE de la Ciudad de México, al extremo sur de la Sierra Nevada. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, Cb (Wc)(w) de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1981), con temperatura promedio anual que oscila entre 3° y 18° C; la precipitación promedio anual es de 1,200 mm (Vargas-Márquez 1984). Los tipos de suelos aflorantes en esta zona son el regosol dístico, los litosoles, el endosol mólico y el cambisol eutrítico. La zona de estudio abarcó un gradiente altitudinal desde los 2 750

hasta los 3 250 m snm; la vegetación predominante es bosque de encino y bosque de pino-encino (A. Ponce, com. pers.).

Se efectuaron cuatro muestreos (noviembre de 2003; y marzo, junio y agosto de 2004) en tres pisos altitudinales (I = 2 750; II = 2 930; III = 3 250 m s.n.m.). Se trazó un transecto de 20 x 4 m², marcándose de forma arbitraria cinco árboles de *Quercus laurina* (Pisos I y II) y 5 de *Abies religiosa* (piso III), que contenían musgos epífitos, de los cuales se tomaron tres muestras: a partir de la base hasta los 2 m del árbol. Las muestras de musgos consistieron de cuadros de 15 x 15 cm, para un total de 180 muestras.

Las muestras se procesaron en laboratorio, colocándose en embudos de Berlese-Tullgren durante seis días. Los colémbolos fueron separados bajo el microscopio estereoscópico, fueron montados en preparaciones semipermanentes en líquido de Hoyer y se identificaron, utilizando el microscopio de contraste de fases. Se calcularon las abundancias relativas (%), las densidades poblacionales (ind/m²), el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), el de equitatividad de Pielou (J'), y el de dominancia de Simpson (1/λ), de acuerdo con Ludwing y Reynolds (1988). Se calculó el índice de similitud de Sorensen para datos cualitativos (Magurran 1988), para medir la similaridad faunística entre las áreas colectadas. Los índices de diversidad se compararon utilizando una prueba de *t* de student modificada (Zar 1984, Magurran 1988), utilizando la corrección de Bonferroni para corregir las comparaciones múltiples (altitudes $\alpha = 0.01$; fechas $\alpha = 0.01$). Para evaluar el efecto de la altitud y fechas de muestreo sobre la densidad de colémbolos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías. Para determinar las diferencias encontradas con el ANOVA, se usó una prueba *post hoc* de Tukey.

Para normalizar los datos de abundancia se utilizó una corrección mediante $\sqrt{X + 0.5}$ (Zar 1984). Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa STATISTICA, versión 6.0 (StatSoft 1995).

RESULTADOS

Abundancia de Collembola: Se obtuvieron un total de 2,172 colémbolos (536 ind/m²), procedentes de las 180 muestras de musgos corticícolas. Los ejemplares colectados representan ocho familias, 21 géneros y 24 especies (Cuadro 1).

Las densidades de los colémbolos variaron entre los 356 y los 813 ind/m². Entre las familias con densidades más altas estuvieron Entomobryidae (de 144 a 584 ind/m²), Isotomidae (de 21 a 153 ind/m²), Neanuridae (de 10 a 79 ind/m²) e Hypogastruridae (de 4 a 41 ind/m²).

Por otra parte, la mayor abundancia relativa la presentan las familias Entomobryidae con el 67% e Isotomidae con el 18% (Fig. 1).

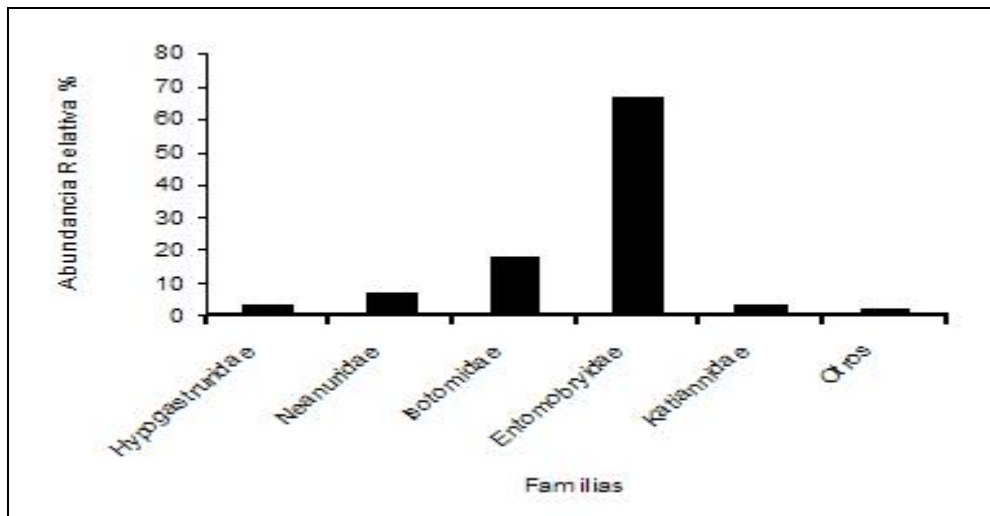


Fig. 1. Abundancia relativa (%) de colémbolos de cada Familia colectados en tres altitudes en el Volcán Iztaccíhuatl. La categoría otros incluyen a Tomoceridae, Sminthurididae y Dicyrtomidae.

Fig. 1. Abundante relative (%) of the Collembola Families collected at three altitudes in the Iztaccíhuatl Volcano. Others include Tomoceridae, Sminthurididae and Dicyrtomidae.

A lo largo del gradiente existen familias de Collembola que se registraron en todos los niveles altitudinales, como es el caso de las familias Hypogastruridae, Neanuridae, Isotomidae, Entomobryidae y Dicyrtomidae. En contraste, la familia que se presentó sólo en el piso altitudinal I fue Tomoceridae (Cuadro 1). La familia Sminthurididae estuvo presente en los pisos altitudinales I y II mientras que Katiannidae estuvo presente en los pisos I y III (Cuadro1).

La abundancia relativa de colémbolos del Orden Entomobryomorpha dominó en todos los pisos altitudinales, la cual varió entre 83 y 86%; en segundo lugar estuvieron los Poduromorpha, con valores entre 4 y 15%, y en tercer lugar los Symphypleona, quienes aportaron de 1 a 10%. El porcentaje más alto de los Entomobryomorpha se

observó en los pisos altitudinales I y III (86%), el de los Poduromorpha en el piso II (15%) y el de los Symphyleona en el piso I (10%).

Se encontró un efecto significativo de la fecha de colecta ($F_{3,176} = 32.08$, $p < 0.005$) y la altitud ($F_{2,177} = 7.00$, $p < 0.05$), sobre la densidad de colémbolos. La densidad de los colémbolos registrada en junio fue significativamente más alta que la registrada en noviembre, y esta última fue la segunda significativa más elevada que la de marzo (Fig. 2a). La densidad de colémbolos registrada en agosto no varió de la registrada en junio y noviembre.

Por otro lado, la densidad de colémbolos en el piso III fue significativamente más alta que la registrada en el piso I (Fig. 2b).

CUADRO 1. Densidad de cada species de colémbolos registrados para la parte noroeste del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México.

TABLE 1. Springtails species recorded at Northwest slope of Iztaccíhuatl Volcano, State of Mexico.

	I (ind/m ²)	II (ind/m ²)	III (ind/m ²)
Hypogastruridae	4	41	4
<i>Hypogastrura ca. essa</i>	1		
<i>Ceratophysella denticulata</i>	2	7	
<i>Xenylla</i> sp. nov.		34	
<i>X. subacauda</i>			2
<i>X. grisea</i>	1		1
Neanuridae	10	27	79
<i>Friesea hoffmannorum</i>	8	21	1
<i>Americanura ca. izabalana</i>		2	4
<i>Neanura muscorum</i>	1	2	
<i>Micranurida pygmaea</i>		1	
<i>Pseudachorutes subcrassus</i>			73
Isotomidae	153	21	115
<i>Folsomides angularis</i>	127		
<i>Cryptopygus thermophilus</i>	3		
<i>Isotoma viridis</i>	22	10	
<i>Pseudisotoma sensibilis</i>		12	115
Entomobryidae	144	345	584
<i>Entomobrya ca. triangularis</i>			21
<i>Americabrya arida</i>	114	226	519
<i>Willowsia mexicana</i>	25	66	33
<i>Seira knowltoni</i>	2	16	8
<i>S. purpurea</i>	2	38	3
Tomoceridae	14		
<i>Tomocerus minor</i>	8		
<i>Plutomurus ca. brevimucronatus</i>	2		
Sminthurididae	1	1	
<i>Sphaeridia pumilis</i>	1	1	
Katiannidae	38		24
<i>Sminthurinus quadrimaculatus</i>	38		24
Dicyrtomidae	8	4	7
<i>Ptenothrix marmorata</i>	6	4	7
Ind/m ²	356	440	813
S	17	14	13
H'	1.77	1.68	1.28
1/λ	0.24	0.30	0.43
J'	0.62	0.52	0.48

Ind/m² = densidad, S = riqueza, H' = índice de diversidad, 1/λ = dominancia de Simpson y J' = equitatividad de colémbolos en tres altitudes en el Volcán Iztaccíhuatl. I = 2,750 m s.n.m., II = 2,930 m s.n.m., III = 3,250 m s.n.m.

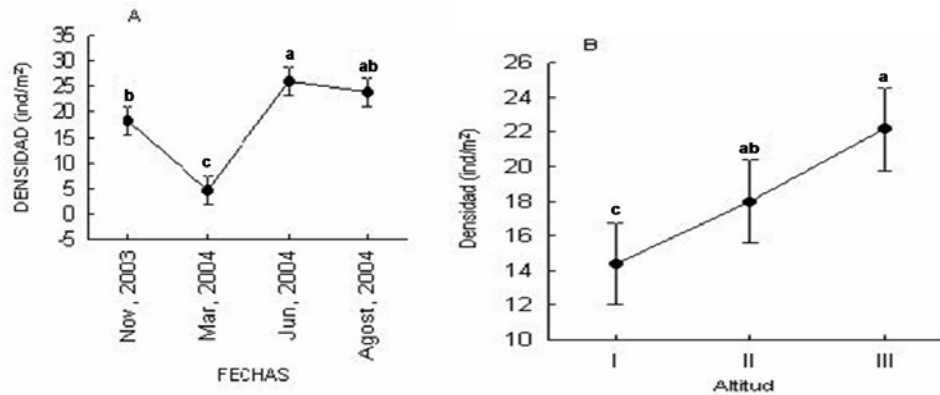


Fig. 2. A) Variación de la densidad de Collembola entre fechas de colecta. B) Variación de la densidad de Collembola con respecto a la altitud. Letras diferentes denotan diferencias significativas de acuerdo a la prueba *post hoc* de Tukey ($p < 0.05$).

Fig. 2. A) Density of Collembola in relation to the collection dates. B) Density variation of Collembola in relation to altitude. Different letters denote significant differences according to the *post hoc* of Tukey test ($p < 0.05$).

Índices de diversidad (H'), Equitatividad (J') y Dominancia ($1/\lambda$): De acuerdo con los datos obtenidos para cada altitud, éstos nos indican que el piso altitudinal que tiene mayor diversidad es el I, pero con una menor dominancia específica, con cuatro especies muy abundantes: *Folsomides angularis*, *Americabrya arida*, *Sminthurinus quadrimaculatus* y *Willowsia mexicana* (Cuadro 1). Asimismo, la equitatividad es mayor con respecto a los pisos II y III, teniendo el último la mayor dominancia específica, entre todas las altitudes estudiadas (Cuadro 1).

En agosto de 2004 se presentó la mayor diversidad ($H' = 1.89$), y el mayor número de especies abundantes y muy abundantes. La mayor riqueza de especies se obtuvo en junio y agosto de 2004 (20 especies). En noviembre de 2003 se registraron la menor diversidad ($H' = 0.99$), la menor equitatividad ($J' = 0.40$) y el menor número de

especies abundantes. Asimismo, para la misma fecha se obtuvo la mayor dominancia de *A. arida* con $1/\lambda = 0.58$ (Cuadro 2).

Se registraron diferencias significativas entre los índices de diversidad ponderados para los pisos I vs. II ($t_{1005} = 2.43, p < 0.05$) y II vs. III ($t_{1278} = 5.43, p < 0.05$), mientras que para los pisos I vs. III ($t_{922} = 2.23, p > 0.05$) no existieron diferencias significativas.

Por otro lado, al comparar los índices de diversidad de Shannon-Weiner entre las fechas de colecta de todos los pisos altitudinales, se encontraron diferencias significativas entre el mes de noviembre de 2003 y el de marzo de 2004 ($t_{84} = 2.64, p < 0.05$); entre noviembre y junio de 2004 ($t_{1349} = 4.12, p < 0.05$) y entre noviembre de 2003 y agosto de 2004 ($t_{1242} = 4.45, p < 0.05$), pero no entre noviembre, marzo y junio (Cuadro 2), en noviembre se registraron los valores de (H') más bajos.

En la altitud de 2,750 m el mayor valor de diversidad (H') se obtuvo en agosto de 2004 (1.93) mientras que la mayor equitatividad se registró en marzo ($J' = 1.17$). Agrupando los datos de todo el estudio para esta altitud, se obtuvo $H' = 1.77, 1/\lambda = 0.24$ y una $J' = 0.62$ (Fig. 3).

En la altitud de 2,930 m, el mayor valor de H' registró en junio de 2004 ($H'=1.62$), mientras que la mayor equitatividad se dio en noviembre de 2003 ($J' = 0.74$). Los datos agrupados de esta altitud mostraron $H' = 1.68, \lambda = 0.30$ y $J' = 0.52$ (Fig. 3).

En el caso de la altitud de 3,250 m, el mayor valor de H' fue registrado en marzo de 2004 ($H' = 1.64$), asimismo, en ese mes se registró el mayor valor de equitatividad con $J' = 1.41$. Los datos agrupados en esta altitud mostraron que $H' = 1.89, \lambda = 0.22$ y $J' = 0.62$ (Fig. 3).

CUADRO 2. Índices de diversidad en la parte noroeste del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México. Letras diferentes entre valores de H' señalan diferencias significativas con $p < 0.05$ (prueba de t con corrección de Bonferroni).

TABLE 2. Diversity Index in the Northwest slope of Iztaccíhuatl Volcano, State of Mexico. Different letter between H' values shown significant differences with $p < 0.05$ (t test with Bonferroni correction).

Índices de Diversidad/Fecha	Noviembre 2003	Marzo 2004	Junio 2004	Agosto 2004
S	12	11	20	19
H'	0.99 b	1.77 a	1.71 a	1.89 a
J'	0.40	0.73	0.45	0.62
$1/\lambda$	0.58	0.21	0.32	0.22
N_1	2.71	5.90	5.57	6.65
N_2	1.69	4.59	3.10	4.53

S = Riqueza, H' = Diversidad, J' = Equitatividad, $1/\lambda$ = Dominancia, N_1 = Abundante, N_2 = Muy Abundante.

Datos obtenidos de los muestreos efectuados de Noviembre, 2003 a Agosto del 2004.

Coefficiente de Similitud de Sorensen: El mayor porcentaje de semejanza, se registró entre el piso II y III (59%), seguido por la confrontación entre los pisos I y II (58%) y por último, los pisos altitudinales menos parecidos fueron el I y III (46%).

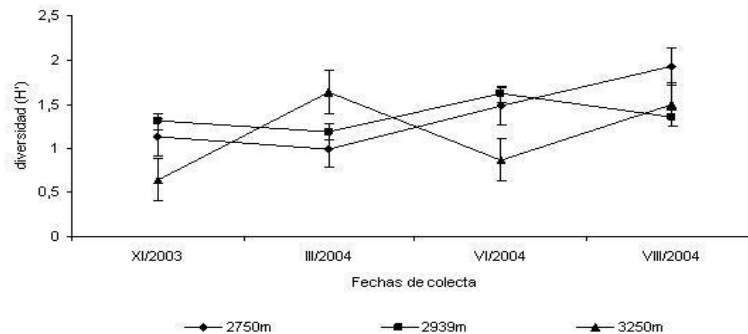


Fig. 3. Variación temporal en el índice de Shannon-Wiener para los colémbolos colectados en tres altitudes de la ladera noroeste del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México, México.

Fig. 3. Temporary variation Shannon diversity index for the springtails collected at three altitudes at Northwest slope of Iztaccíhuatl Volcano, State of Mexico, Mexico.

DISCUSIÓN

En este estudio se registraron ocho familias, con 21 géneros y 24 especies. Se registran dos familias más de las mencionadas en el trabajo realizado por Cutz-Pool *et al.* (2005) en musgos corticícolas, en la misma localidad, y seis familias más de las que encontró Palacios-Vargas (1985), para musgos epífitos, en el Volcán Popocatepetl.

Las familias comunes en musgos de ambas localidades (Popocatepetl e Iztaccíhuatl) fueron: Hypogastruridae, Neanuridae, Isotomidae, Entomobryidae, Sminthuridae y Katiannidae.

El número de especies y géneros fue superior a lo registrado en trabajos previos en la misma zona y ambientes semejantes (Palacios-Vargas 1985, Cutz-Pool *et al.* 2005).

De las 24 especies identificadas, cinco fueron exclusivas para el piso I, dos para el piso II y tres para el piso III (Cuadro 1). De éstas, algunas especies se han registrado en musgos y epífitas, como son: *Xenylla grisea*, *Folsomides angularis*, *Pseudisotoma sensibilis*, *Tomocerus minor* y *Sphaeridia pumilis* (Mills 1935, de Izarra 1969, Acón y Simón 1979, Palacios-Vargas 1981a, Acón 1982, Villanueva y Jordana 1988, Kováč y Palacios-Vargas 1996, Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2002, Hoyle y Harborne 2005). Los aspectos que influyen en el cambio de la composición de los colémbolos en este estudio es la altitud, ya que modifica las condiciones climáticas del medio, afectando de tal forma, la distribución y abundancia de los colémbolos.

Las variables consideradas (altitud y fecha de muestreo) tuvieron un efecto significativo en la estructura de la comunidad de colémbolos de tal forma, que la distribución y la abundancia de las poblaciones que la conforman no dependen de un solo factor, si no de la combinación de varios factores, lo que produce una gran gama de variaciones en tiempo y espacio, dando, por consiguiente, aumentos y decrementos en

las abundancias y densidades, con mayores o menores grados de agregación en la fauna colembológica.

La alta abundancia de Entomobryidae, presente en la altitud III, se debe a que las especies encontradas de esta familia han sido citadas como de gran adaptabilidad a similares altitudes y al tipo de vegetación que predomina en el área (bosque de *Abies*), siendo las condiciones favorables para su desarrollo; asimismo, existe una mayor estabilidad en las condiciones climáticas (temperatura y humedad), lo que favorece el establecimiento de los musgos (Palacios-Vargas, 1981a, b, 1985, Mari-Mutt y Palacios-Vargas 1987, Cutz-Pool *et al.* 2005).

Los elevados valores de abundancia de *Americabrya arida*, con respecto a la de las otras especies, puede deberse a que es una especie adaptada a climas templados, con tendencias a habitar mayores altitudes, y regiones con bajas temperaturas, así como ambientes epífitos (Palacios-Vargas 1981a, b, 1985, Mari-Mutt y Palacios-Vargas 1987, Cutz-Pool *et al.* 2005). Por tanto, a esta especie se le puede considerar como indicadora de grandes altitudes.

En la altitud I, *Folsomides angularis* es la especie mejor representada, mostrando un decremento muy notorio en relación a la altitud. En un trabajo previo, Palacios-Vargas (1981a) la cita para los 2,350 m s.n.m. en epífitas. Por lo que podría ser considerada como una especie propia de altitudes de entre 2,350 y 2,750 m, en hábitats muscícolas (Kováč y Palacios-Vargas 1996).

La diversidad y equitatividad fueron más bajas en el piso III que en las altitudes I y II. Esto puede explicarse en parte, por el incremento en la proporción de los individuos de la especie *A. arida* y, por otra, por la existencia de una composición florística y muscícola distinta respecto a la altitud I, lo que se ve reflejado de forma indirecta, sobre la fauna de colémbolos. Por lo general, se sabe que la diversidad va en

disminución conforme la altitud aumenta (Begon *et al.* 1990, Rahbek 1995, 1997), lo cual concuerda con los patrones encontrados previamente (Cutz-Pool *et al.* 2005). Con la abundancia sucede lo contrario, dado que a mayor altitud, se incrementa notoriamente la abundancia.

El grado de similitud encontrado entre las altitudes II y III (59%), indica que existen condiciones similares en ambas áreas, para el establecimiento de las comunidades de Collembola. Varias de las especies que comparten las altitudes II y III son principalmente de Neanuridae y Entomobryidae. La presencia de especies en una altitud, pero no en otra, sugiere sensibilidad a la altitud.

La altitud afectó la estructura de la comunidad de colémbolos asociados a musgos corticícolas, ya que conforme esta aumenta disminuye la diversidad (H') y se incrementa la abundancia, la cual aumenta conforme se incrementa la altitud.

Existen diferencias en cuanto a la composición de los colémbolos entre los estratos altitudinales, así como diferencias estadísticas significativas entre la altitud y la densidad de los colémbolos, y entre las fechas de muestreo y la densidad. La prueba de *t* modificada demostró la existencia de una diferencia significativa entre el índice de diversidad, con respecto a la altitud y a las fechas de muestreo, el coeficiente de similitud comprobó que existe una modificación en la composición de las comunidades de Collembola.

AGRADECIMIENTOS

Aldo Bernal, Arturo García Gómez, Daniel Estrada Bárcenas, Leonardo González Valencia, María A. Díaz Martín, Patricia Hernández y Ricardo Iglesias Mendoza colaboraron en el trabajo de campo y éste último revisó el manuscrito final. La investigación fue patrocinada en parte por el CONACyT y la beca otorgada por la

DGEP-UNAM para los estudios de posgrado de LQCP. El Dr. Frans Janssens revisó el resumen en inglés.

Resumen: Se presentan datos sobre la estructura de la comunidad de colémbolos en musgos corticícolas, de un bosque de encino y abetos en la vertiente noroeste del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México, México. El estudio comprendió cuatro muestreos (noviembre de 2003, marzo, junio y agosto de 2004) realizados en tres altitudes I: 2,750 m; II: 2,930 m y III: 3,350 m s.n.m. En cada altitud, se calculó la riqueza de especies (S), los índices de diversidad de Shannon-Weiner (H'), Equitatividad de Pielou (J') y dominancia de Simpson (λ). El número total de especies fue de 24, variando de 13 para la altitud mayor a 17 en la menor. La mayor densidad se encontró a mayor altitud. *Americabrya arida* y *Willowsia mexicana* fueron las especies dominantes, y se encontró un efecto positivo significativo de la altitud sobre sus densidades. La mayor similitud entre comunidades se presentó entre las altitudes II y III, con un 59 %.

Palabras clave: musgos, Collembola, diversidad, abundancia, Iztaccíhuatl.

REFERENCIAS

- Acón, M. 1975. Colémbolos de musgos corticícolas del Valle de Hecho, Pirineo Aragonés. Nota I. Graellsia, 30: 173-186.
- Acón, M. 1982. Contribución al conocimiento de la flora muscícola de España en la relación con su población de microartrópodos. Pirineos, 117: 21-33.
- Acón, M. & J.C. Simón. 1979. Contribución al conocimiento de los Colémbolos muscícolas de la Sierra de Gredos. Graellsia, 33: 247-259.

- André, H.M. 1976. Introduction à l'étude écologique des communautés de microarthropodes corticoles soumises à la pollution atmosphérique. I. Les microhabitats corticoles. Bull. Ecol. 7: 331-444.
- André, H.M. 1983. Notes on the ecology of corticolous epiphyte dwellers. 2. Collembola. Pedobiologia, 25: 271-278.
- André, H. y Ph. Lebrun. 1979. Quantitative Comparison of the funnel and the brushing methods for Extracting Corticolous Micro-Athropods. Ent. Exp. & Appl. 26: 252-256.
- Andrew, N. & L. Rodgerson. 1999. Extracting invertebrates from bryophytes. J. Insect. Conserv. 3: 53-55.
- Andrew, N., L. Rodgerson & M. Dunlop. 2003. Variation in invertebrate-bryophyte community structure at different spatial scales along altitudinal gradients. J. Biogeogr. 30: 731-746.
- Arlé, R. & A.E. Guimaraes. 1981. Nova especie saxicola do genero *Seira* Lubbock, 1869, do Rio de Janeiro (Collembola). Rev. Bras. Entomol. 25: 1-3.
- Begon, M., J.L. Harper & C.R. Townsend. 1990. Ecology: Individuals, Populations and communities. Blackwell, Melbourne, Australia. 876 pp.
- Bonet, L., P. Cassagnau & D.C. de Izarra. 1970. Étude écologique des collemboles muscicoles du sidore (tarn). II Modèle mathématique de la diatribution des espèces sur un rocher. Bull. Soc. d'Hist. Nat. Toul. 1-2: 128-145.
- Bonet, L., P. Cassagnau & D.C. de Izarra. 1972. Étude écologique des Collemboles muscicoles du Sidobre (Tarn). III. Répartition des especès en fonction des biotopes. Bull. Soc. d'Hist. Nat. Toul. 1: 263-279.

- Bonet, L., P. Cassagnau & J. Travé. 1975. L'Ecologie des Arthropodes muscicoles a la lumière de l'Analyse des Correspondances: Collemboles et Oribates Sidobre (Tarn, France). *Oecologia*, 21: 359-373.
- Cutz-Pool, L.Q., J.G. Palacios-Vargas & G. Castaño-Meneses. 2005. Diversidad y abundancia de colémbolos de musgos corticícolas en el Volcán Iztaccíhuatl (otoño 2003). *Entomol. Mex.* 4: 171-175.
- de Izarra, D.C. 1969. Étude écologique des Collemboles muscicoles du Sidobre (Tarn). I. Le milieu et sa faune. *Rév. Écol. et Biol. du Sol.* 6: 447-460.
- Delgadillo, M.C. y M.A. Cárdenas-S. 1990. Manual Briofitas. Cuadernos del Instituto de Biología, No. 8. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F., México. 135 pp.
- Franks, A.J., D.M. Bergstrom. 2000. Corticolous bryophytes in microphyll fern forests of south-east Queensland: distribution on Antarctic beech (*Nothofagus moorei*). *Aust. Ecol.* 25: 386-397.
- Gadea, E. 1964. La zoocenosis muscícola en los biotopos altimontanos. *P. Inst. Biol. Apl.* 36: 113-120.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D. F., México. 252 pp.
- Gerson, U. 1969. Moss-arthropod associations. *Bryologist*, 72: 495-500.
- Hoyle, M. & A.R. Harborne. 2005. Mixed affects of habitat fragmentation on species richness and community structure in a microarthropod microecosystem. *J. Anim. Ecol.* 30: 684-691.
- Kováč, L & J.G. Palacios-Vargas. 1996. A survey of Mexican *Folsomides* (Collembola: Isotomidae) with description of three new species. *Eur. J. Entomol.* 93: 595-606.

- Ludwing, J.A. & J.F. Reynolds. 1988. Statistical ecology a primer on methods and computing. Wiley. EEUU. 338 pp.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Nueva Jersey. EEUU. 179 pp.
- Mari-Mutt, J.A. & J.G. Palacios-Vargas. 1987. *Americabrya*, a new genus of Entomobryidae (Collembola), with a redescription of *A. arida* (Christiansen and Bellinger) based on Mexican specimens and descriptive notes for *A. epiphyta* (Lorong). J. New York Entomol. Soc. 95: 99-108.
- Mejía-Recamier, B.E., C. Maldonado-Vargas & L.Q. Cutz-Pool. 2003. Estudio exploratorio de los artrópodos en dos biotopos: musgo (*Polytrichum* sp.) y órgano (*Cephalocereus* sp.) en Tolantongo, Hidalgo. Entomol. Mex. 2: 268-274.
- Mills, H.B. 1935. New Collembola from Western North America. Bull. Brooklyn Entomol. Soc. 30: 133-141.
- Palacios Vargas, J.G. 1981a. Collembola asociados a *Tillandsia* (Bromeliaceae) en el derrame lávico del Chichinautzin, Morelos, México. Southwest. Entomol. 6: 87-98.
- Palacios-Vargas, J.G. 1981b. Note on Collembola of Pedregal de San Angel, México, D.F. Entomol. News, 92: 42-44.
- Palacios-Vargas, J.G. 1985. Microartrópodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colémbolos). Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 132 p.
- Palacios-Vargas, J.G. & G. Castaño-Meneses. 2002. Collembola associated with *Tillandsia violacea* (Bromeliaceae) in Mexican *Quercus-Abies* forests. Pedobiologia. 46: 395-403.

- Patterson, P.M. 1940. Corticolous bryophyte societies at Mountain Lake, Virginia. *Am. Midl. Nat.* 23: 421-441.
- Pianka, E.R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *Am. Nat.*, 100: 33-46.
- Prinzing, A. 2005. Corticolous arthropods under climatic fluctuations: compensation is more important than migration. *Ecography*, 28: 17-28.
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 18: 200-205.
- Rahbek, C. 1997. The relationship among area, elevation, and regional species richness in Neotropical birds. *Am. Nat.* 149: 875-902.
- Ríos-Saís, G.A. & R. Villavicencio-Becerril. 1994. Microartrópodos asociados a musgos en Contreras, México, D. F. III Simposio de Zoología, II Congreso Latinoamericano de Teriología. Sociedad Cubana de Zoología. La Habana, Cuba. 79p.
- Riverón, G.R. 1985. Conocimiento de la artropodofauna asociada a musgos en la localidad altimontana del Estado de Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 246 p.
- Smrz, J. 1992. The ecology of the microarthropod community inhabiting the moss cover of roofs. *Pedobiologia*, 36: 331-341.
- StatSoft Inc. 1995. Statistical user guide. Complete Statistical System StatSoft. Oklahoma. EEUU.
- Steiner, W.A. 1995. Influence of air pollution on moss-dwelling animals: 3. Terrestrial fauna, with emphasis on Oribatida and Collembola. *Acarologia*, 36: 149-173.

- Vargas-Márquez, F. 1984. Parques Nacionales de México y reservas equivalentes. Instituto de investigaciones económicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 266 p.
- Villanueva, F. & R. Jordana. 1988. Estudio de la fauna colembológica muscícola de cinco comunidades del género *Quercus* en Navarra, España. *Actas III Congreso Ibérico de Entomología*, p. 597-606, Granada, España.
- Wolda, H. 1987. Altitud, habitat and tropical insect diversity. *Biol. J. Linn. Soc.* 30: 313-323.
- Zar, H.J. 1984. *Biostatistical Analysis*. 2^a. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey. EEUU. 605 pp.

6. Estratificación vertical de las comunidades de colémbolos de musgos epífitos de la vertiente Noroeste del Iztaccíhuatl, México. (Enviado a Revista Mexicana de Biodiversidad).

Vertical stratification of Collembola communities from epiphytic moss in the NW slope of Iztaccihuatl, Mexico.

Leopoldo Q. Cutz-Pool^a, Gabriela Castaño-Meneses^a, José G. Palacios-Vargas^a y Zenón Cano-Santana^b.

^aEcología y Sistemática de Microartrópodos. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. 04510 México, D. F. Tel. 56 22 49 06; e-mail: cutzpool@yahoo.com

^bEcología de artrópodos, departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. 04510 México, D. F.

Resumen. Se emprendió una investigación para evaluar las comunidades de los Collembola en musgo epífitos a tres diferentes alturas sobre el árbol soporte: 0, 1 y 2 m. Este estudio fue realizado en un bosque templado subhúmedo en la vertiente noroeste del volcán de Iztaccíhuatl, en el centro de México. La recolecta de muestras se realizó en los meses de noviembre de 2003 y marzo, junio y agosto de 2004. Los Collembola fueron contados e identificados a nivel específico. Se estimó el índice de Shannon-Weiner, la riqueza de especies, y la densidad en las tres alturas. El número total de las especies registradas fue 24, esta riqueza disminuyó conforme se aumentó la altura sobre los árboles soporte, y lo mismo sucedió con la densidad. La altura sobre el árbol tuvo un

efecto positivo y significativo sobre la diversidad. También se registró una correlación significativa y positiva entre la altitud y la densidad de *Xenylla* sp. nov. y *Folsomides angularis*. En contraste, se encontró una correlación significativa y negativa entre la altitud y la abundancia de *Entomobrya* ca. *triangularis*, *Willowsia mexicana*, *Tomocerus minor* y *Ptenothrix marmorata*. Los resultados muestran que la estratificación vertical de los colémbolos musícolos está afectada de manera diferencial por los microhábitats que se presentan a diversas alturas sobre los árboles soporte, así como por las características morfoecológicas de las especies.

Esto sugiere que su capacidad para la migración vertical en busca de alimento y evitar la depredación.

Palabras clave: Collembola, comunidad, diversidad, altura, musgos epífitos.

Abstract. An investigation to evaluate the Collembola communities at different heights on epiphytic moss was undertaken. This study was carried out in a temperate subhumid forest on the Northwest slope of the Iztaccíhuatl Volcano in Central México. Collembola inhabiting epiphytic moss were sampled every three months, counted and identified at specific level. The diversity index (Shannon-Wiener) was estimated and the species richness, density and diversity of three communities were compared statistically. The relationship between the height on the trees of the epiphytic moss by total density and by species, was evaluated with an ANOVA test and with correlation analysis. The total number of species was 24 and they diminished as the height increased on the trees, and the same happened with the density. The diversity index showed a positive effect as the height increased; however, the *Xenylla* sp. nov. and *Folsomides angurlaris* densities showed a significant positive effect as the height increased. In contrast, the densities of *Entomobrya* ca. *triangularis*, *Willowsia*

mexicana, *Tomocerus minor* and *Ptenothrix marmorata* showed a significant negative effect as the height on the trees increased. From these results it was found that the vertical stratification was affected by the differentiation of the microhabitats at different height on the trees and also affected the morpho-ecological characteristics of the species. This demonstrates their capacity for migration to other heights in order to search for food and to avoid predation.

Key words: Collembola, community, diversity, height, epiphytic moss.

Introducción

La distribución espacial y temporal de los organismos es uno de los principales puntos de interés de los investigadores para interpretar y comprender los patrones de distribución de los seres vivos. Los patrones que se han encontrado muestran, que en relación a la diversidad, ésta disminuye de manera general conforme se aumenta la altitud, y lo mismo sucede si se considera la latitud (Begon et al., 1990; Rahbek, 1995, 1997). La mayoría de tales generalizaciones se han basado en la distribución de plantas y aves, por lo que en otros grupos taxonómicos, se presentan patrones que difieren de la generalidad (Janzen, 1981; Wolf, 1993). Estas variaciones en los patrones de diversidad en gradientes altitudinales, se ha planteado que pueden estar relacionados con la escala. Así, la magnitud de la variación en los patrones de diversidad pueden ser muy evidentes a escala local, pero si el estudio es regional, pueden no ser tan evidentes tales cambios (Andrew et al., 2003).

En el caso de los musgos epífitos y las comunidades de invertebrados que en ellos habitan, resulta un modelo idóneo para estudiar los patrones de diversidad a una muy pequeña escala, pues se distribuyen a lo largo de los árboles soporte, desde la base hasta la región del dosel, inclusive.

La humedad absorbida por los árboles, la intensidad de la radiación solar, la temperatura del aire, la talla del árbol y la rugosidad de la corteza son algunas de las características que permiten el establecimiento de los musgos en los árboles, determinando la distribución espacial de los mismos y al mismo tiempo constituyendo microhábitats (Franks y Bergstrom, 2000; Prinzing, 2005; Woda et al., 2006). Los musgos epífitos como microhábitats contienen una fauna de invertebrados típica, entre ellos los colémbolos (Andrew y Rodgerson, 1999; Andrew et al., 2003).

Por otra parte, los colémbolos resultan un material fácil, sensible y de bajo costo para medir los efectos del estrés mediante la diversidad en los diversos ambientes. Generalmente estos organismos son utilizados como especies indicadoras de las condiciones del hábitat (Traser et al., 2006). Además, permiten un adecuado monitoreo de los cambios en el ambiente gracias a su abundancia y riqueza específica y frecuencia y amplitud de distribución espacial. Además, tienen tiempos de reproducción relativamente cortos y son muy sensibles a los cambios a nivel local o bien a pequeña escala (Prinzing y Woas, 2003; Medianero et al., 2007).

La fauna colembológica de los alrededores del Volcán Iztaccíhuatl ha sido poco estudiada; sin embargo se conocen 31 especies registradas de suelo y hojarasca (García-Gómez, 2007), y con respecto a colembolos de musgos corticícolas nuestros aportes previos Cutz-Pool et al. (2005; en prensa) registraron unas 30 especies para el Volcán Iztaccíhuatl a diferentes altitudes. A pesar de que se ha documentado ciertos patrones de distribución vertical de los colémbolos (Bardgett y Cook, 1998; Rodgers y Kitching, 1998; Charles y Basset, 2005, Palacios-Vargas, 1985) hasta ahora existe muy poca información que aborda el efecto de la altura con la estructura de la comunidad de colémbolos (Palacios-vargas, 1981, Rodgers y Kitching, 1998; Prinzing y Woas, 2003).

El objetivo de este trabajo es determinar el efecto de la altura de los musgos epífitos, sobre la composición y estructura de la comunidad de colémbolos muscícolas en un bosque templado subhúmedo.

Material y Método

El estudio se realizó en la vertiente noroeste del Volcán Iztaccíhuatl (19° 12' 66''-19° 12' 31''norte y 98° 44' 03''-98° 41' 55'' oeste). El área presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, tipo Cb (Cw) (w), (García, 2004; Vidal-Zepeda, 2005), con temperatura promedio anual de 14 °C y una precipitación promedio anual de 1,200 mm (García, 2004).

La recolecta se efectuó en tres parcelas ubicadas desde los 2,750 hasta los 3,250 m s.n.m. En esta área se escogieron arbitrariamente árboles de las especies *Quercus laurina* y *Abies religiosa* que contenían musgos epífitos. En cada sitio se eligieron cinco árboles, de los que se tomaron tres muestras de musgos a tres alturas del árbol: en la base (0 m), a 1 m y a 2 m de altura. Las muestras de musgos consistieron de cuadros de 15 x 15 cm (225cm²). Se efectuaron cuatro muestreos (noviembre de 2003; marzo, junio y agosto de 2004), obteniendo un total de 180 muestras. La vegetación predominante en los sitios de colecta se señala en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Localidades de recolección de colémbolos en musgos corticícolas en la vertiente NW del volcán Iztaccíhuatl.

Altitud (m s.n.m.)	Coordenadas	Altura máxima de árboles (m)	Vegetación	Especie dominante
2 750	19° 12' 6''norte 98° 44' 0''oeste	12	bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus laurina</i> , <i>Buddeia cordata</i>
2 930	19° 12' 5''norte 98° 43' 6''oeste	15	bosque de <i>Quercus</i>	<i>Quercus laurina</i> , <i>Buddeia cordata</i>
3 250	19° 12' 2''norte 98° 42' 9''oeste	28	bosque de <i>Abies</i>	<i>Abies religiosa</i>

Las muestras fueron transportadas al laboratorio y procesadas en embudos de Berlese-Tullgren durante seis días. Una vez extraída la fauna, se separaron y cuantificaron los colémbolos con ayuda de un microscopio estereoscópico. Simultáneamente se realizaron preparaciones semipermanentes con líquido de Hoyer para identificar a los colémbolos utilizando diferentes claves taxonómicas adecuadas para el grupo (Christiansen y Bellinger, 1980-81; Palacios-Vargas y Gómez-Anaya, 1993; Janssens, 2007).

Se calcularon las densidades poblacionales (ind./m^2), el índice de Shannon-Weiner (H'), el índice de equitatividad de Pielou (J'), y el índice de dominancia de Simpson (λ), (Ludwing y Reynolds 1988). Se determinaron las diferencias significativas entre las diversidades de las comunidades estudiadas para muestras pareadas aplicando una prueba de t modificada (Magurran, 1988; Zar, 1984), considerando la corrección de Bonferroni (Howell, 2002). Se aplicó un análisis de varianza (ANDeVA de dos vías) para determinar el efecto de la altura y de la fecha de colecta sobre las densidades de colémbolos y las diferencias fueron probadas mediante una prueba *post hoc* de Tukey. La relación entre la abundancia y la altura, se evaluó mediante correlaciones lineales simples (Zar, 1984). Para ver la similitud entre las comunidades de las tres alturas, se efectuó un análisis de cluster utilizando el coeficiente de correlación de Pearson como distancia, y como método de amalgamación las medias aritméticas no pareadas

(UPGMA) (Pearson, 1977; Sokal y Michener, 1958). Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa STATISTICA ver. 6.0 (StatSoft, 1995).

Resultados.

Se obtuvieron un total de 2,172 colémbolos, en las 180 muestras recolectadas de musgos epífitos. Se encontró un total de ocho familias, 21 géneros y 24 especies (Cuadro 2). Las densidades de los colémbolos variaron entre los 439 y los 689 ind/m². Las familias de Collembola con altas densidades fueron Entomobryidae (de 236 a 475 ind/m²), Isotomidae (de 45 a 127 ind/m²), Neanuridae (de 19 a 53 ind/m²), e Hypogastruridae (de 7 a 33 ind/m²) (Fig. 1). Existen familias de Collembola que aparecen de los 0 a los 2 m de altura, como es el caso de las familias Hypogastruridae, Neanuridae, Isotomidae, Entomobryidae, Katiannidae y Dicyrtomidae. En contraste, a los 0 m se registró exclusivamente Sminthurididae en tanto que Tomoceridae estuvo presente a los 0 y 1 m de altura (Cuadro 2, Fig. 1). Entomobryidae fue la familia dominante por su densidad en todos los estratos recolectados, en segundo lugar estuvieron los Isotomidae, en tercer lugar los Neanuridae, seguido por Katiannidae, Hypogastruridae, Dicyrtomidae, Tomoceridae y Sminthurididae respectivamente (Fig. 1). La densidad más alta de Entomobryidae, Isotomidae, Neanuridae y Dicyrtomidae se registró a los 0 m (Fig. 1).

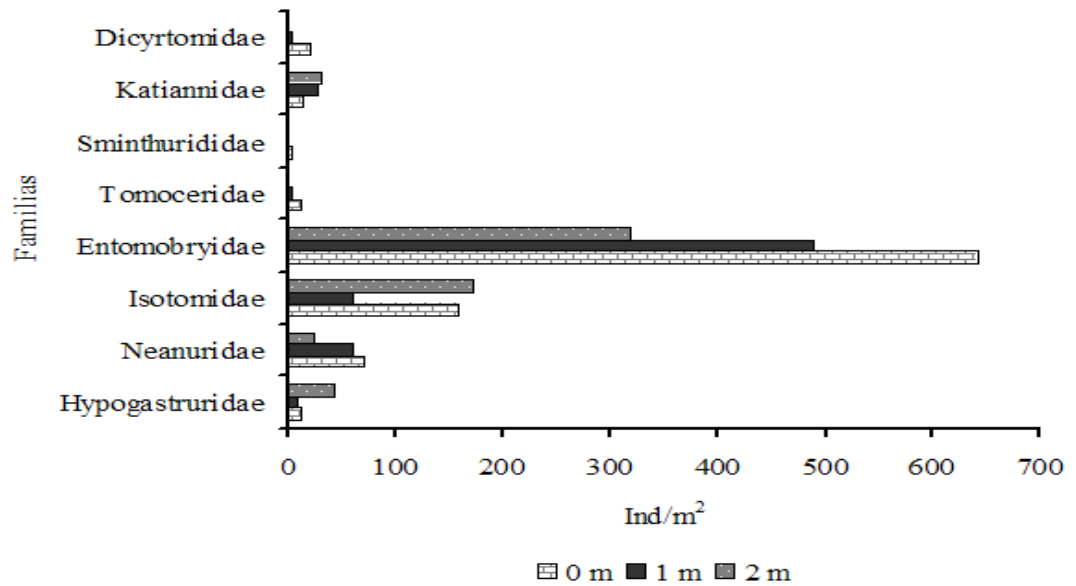


Figura 1. Densidad de colémbolos por familia, en tres alturas sobre los árboles en el Volcán Iztaccíhuatl, México.

En general, conforme se incrementa la altura a la cual fue tomada la muestra, disminuye la riqueza específica (Cuadro 2). Veintidós especies se registran en el primer estrato (0 m), 18 en el segundo estrato (1 m) y 15 en el último estrato (2 m). De las 22 especies identificadas en el estudio, cinco fueron exclusivas para el primer estrato (0 m), lo que corresponde al 20.8% del total de las especies. Doce estuvieron en los tres estratos, lo que representa el 50% del total de las especies. Entre los 0 y 1 m de altura se identificaron 16 especies comunes, lo que representa el 66.7%. Para los estratos 1 y 2 m se identificaron 14 especies comunes que representan 58.3%. Para los estratos 0 y 2 m se identificaron 13 especies que corresponde al 54.2%, que a su vez es la diferencia existente entre los tres estratos de la altura a la cual se tomaron las muestras (Fig. 2).

Cuadro 2. Densidad (ind/m² ± e. e.), riqueza (S), índice de diversidad de Shannon-Weiner (H'), dominancia de Simpson (1/λ) y equitatividad (J') de colémbolos en tres alturas en el Volcán Iztaccíhuatl.

Spp / altura	0 m (ind/m ²)	1 m (ind/m ²)	2 m (ind/m ²)
<i>Hypogastrura ca. essa</i>	0.74±0.01	0	0
<i>Ceratophysella denticulata</i>	6.66±0.09	0	2.22±0.05
<i>Xenylla</i> sp. nov.	0	0.74±0.01	17.77±0.25
<i>X. subacauda</i>	0	5.18±0.08	12.59±0.26
<i>X. grisea</i>	0.74±0.01	0.74±0.01	0
<i>Friesea hoffmannorum</i>	8.88±0.07	13.33±0.14	8.14±0.06
<i>Americanura ca. izabalana</i>	3.70±0.04	2.96±0.03	0
<i>Neanura muscorum</i>	2.96±0.03	0	0
<i>Micranurida pygmaea</i>	1.48±0.03	0	0
<i>Pseudachorutes subcrassus</i>	35.55±0.25	28.14±0.23	10.37±0.10
<i>Folsomides angularis</i>	2.95±0.05	11.11±0.13	113.33±1.5
<i>Cryptophygus thermophilus</i>	0.74±0.01	1.48±0.03	0
<i>Isotoma viridis</i>	18.51±0.17	6.66±0.05	6.66±0.09
<i>Pseudisotoma sensibilis</i>	94.81±1.50	25.18±0.39	6.66±0.10
<i>Entomobrya ca. triangularis</i>	18.51±0.22	1.48±0.03	0.74±0.16
<i>Americabrya arida</i>	390.37±2.00	280.74±1.61	188.14±0.82
<i>Willowsia mexicana</i>	55.55±0.31	51.11±0.29	17.77±0.13
<i>Seira knowltoni</i>	5.18±0.07	8.88±0.08	11.85±0.11
<i>S. purpurea</i>	5.92±0.06	20±0.17	17.77±0.13
<i>Tomocerus minor</i>	5.92±0.05	2.22±0.03	0
<i>Plutomurus ca. brevimicronatus</i>	2.22±0.05	0	0
<i>Sphaeridia pumilis</i>	2.22±0.03	0	0
<i>Sminthurinus quadrimaculatus</i>	10.81±0.10	20±0.17	22.22±0.20
<i>Ptenothrix marmorata</i>	14.81±0.09	2.22±0.02	0.74±0.01
Ind/m²	688.88±2.14	482.96±1.43	437.03±1.50
S	22	18	15
H'	1.65	1.64	1.79
1/λ	0.35	0.35	0.26
J'	0.43	0.42	0.56

P. subcrassus, *P. sensibilis*, *A. arida* y *W. mexicana* registraron mayor abundancia a los 0 m mientras que *F. angularis* y *S. quadrimaculatus* lo registran a los 2 (Fig 3).

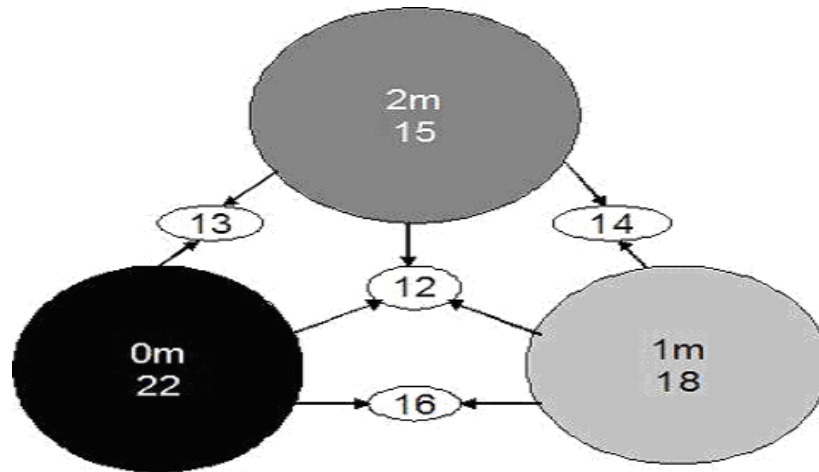


Figura 2. Número de especies de exclusivas (dentro de círculo) y compartidas (entre flechas) en cada altura muestreado.

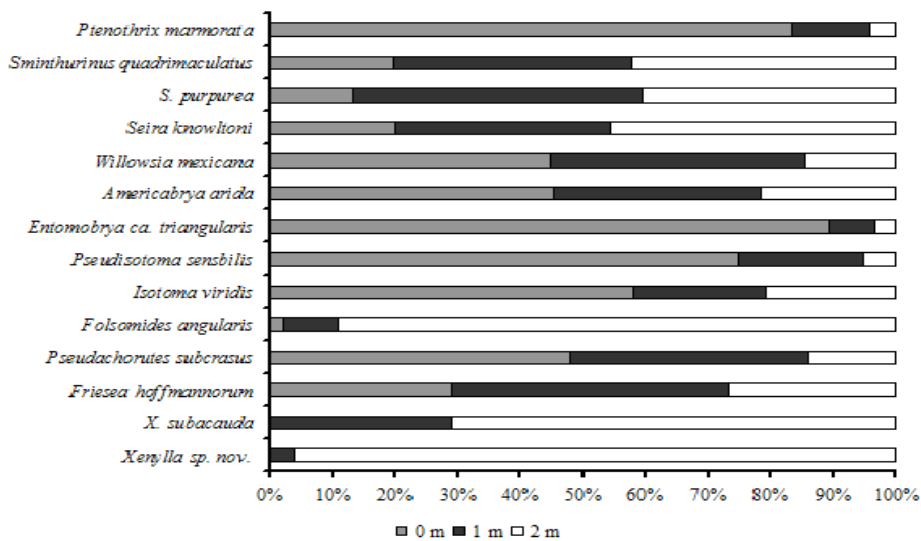


Figura 3. Variación de la abundancia relativa de catorce especies de colémbolos de musgos corticícolas en tres alturas (0, 1 y 2 m) recolectados en árboles del Iztaccíhuatl.

Se encontró un efecto significativo de la fecha de colecta ($F_{3, 883} = 2, p < 0.05$) pero no de la altura, ni de la interacción fecha x altura sobre la densidad de colémbolos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de dos vías para evaluar el efecto de la fecha de colecta y altura en el árbol huésped sobre la densidad de Collembola.

Fuente	<i>F</i>	gl	<i>p</i>
Fecha	338.830	3	<0.001*
Altura	24.991	2	0.085 ns
Fecha x Altura	52.443	6	<0.001*

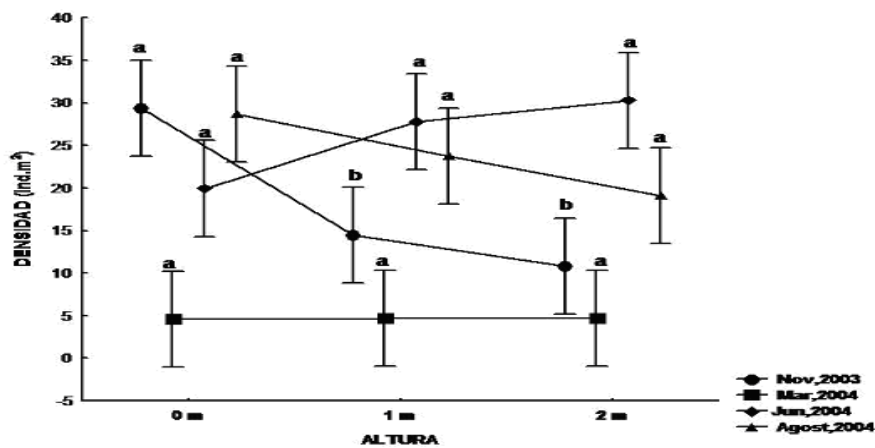


Figura 4. Variación de la densidad de Collembola con respecto a las fechas de colecta y la altura. Letras diferentes denotan diferencias significativas entre las alturas de acuerdo a la prueba *post hoc* de Tukey ($p < 0.05$).

El estrato que tuvo una mayor diversidad, así como una menor dominancia específica fue el de 2 m de altura. En este estrato se registraron tres especies muy abundantes: *F. angularis*, *A. arida* y *S. quadrimaculatus* (Cuadro 1). El estrato 2 m presentó una equitatividad mayor que los estratos 0 y 1 m de altura, teniendo estos dos

estratos la mayor dominancia específica de los tres estratos estudiados (Cuadro 2). Las diferencias estadísticas significativas en los valores de diversidad de especies se encontraron para los estratos de 0 vs. 2 m ($t_{1424} = 2.21$, $p < 0.05$) y entre los estratos de 1 vs. 2 m ($t_{1236} = 2.21$, $p < 0.05$).

El dendrograma obtenido por medio del análisis de cluster, muestra que las alturas de 1 y 2 m son más parecidas al compartir mayor número de especies (Fig. 5). Se registró una composición de especies para cada altura recolectada.

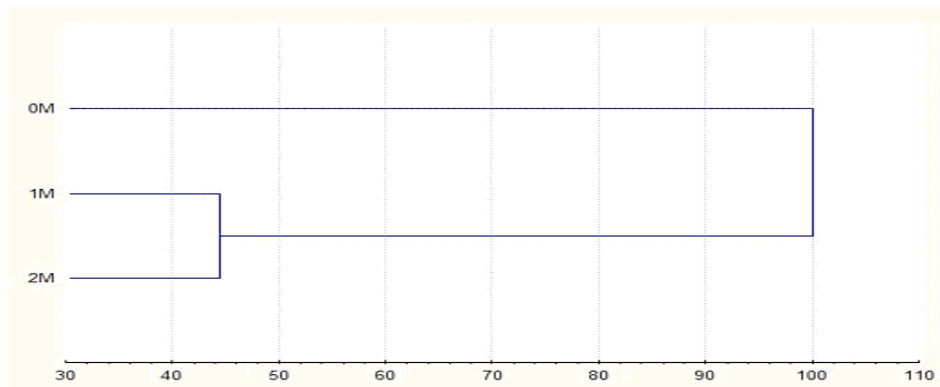


Figura 5. Dendrograma mostrando la relación entre comunidades de colémbolos musgos corticícolas en tres alturas de los árboles que fueron muestreados en el Iztaccíhuatl, en función de su composición de especies.

Considerando la densidad de cada especie, se encontró una correlación significativa y positiva ($g. l. = 178$, $p < 0.05$) entre la altura y la abundancia de *Xenylla* sp. nov. ($r = 0.16$) y *F. angularis* ($r = 0.16$). Por otra parte, se encontró una correlación negativa entre la altura y densidad de cada una de las siguientes especies: *E. ca. triangularis* ($r = -0.16$), *W. mexicana* ($r = -0.18$), *T. minor* ($r = -0.16$) y *P. marmorata* ($r = -0.27$) (en todos los casos $g. l. = 178$, $p < 0.05$).

Discusión

La abundancia y la riqueza específica disminuyó conforme se incrementó la altura a la cual fue tomada la muestra, lo que indica que la mayor parte de las especies tienden a ser hemiedáficas, lo que está determinando indirectamente tal disminución en la riqueza específica y la densidad. De cierto modo las características de los organismos hemiedáficos pueden limitar la capacidad de distribución vertical de la mayoría de las especies de colémbolos (Prinzing y Woas, 2003). Esta disminución en la riqueza específica y la abundancia es similar a lo que registran Rodgers y Kitching (1998) en bosque lluvioso en Inglaterra al evaluar la estratificación vertical de las comunidades de Collembola.

Por otra parte, podemos notar que la abundancia y riqueza de las especies que se encontraron a los 2 m de altura tienen características de ser especies epiedáficas (Christiansen, 1964). Esta disminución en la riqueza específica y la abundancia de los colémbolos, ha sido registrada para los bosques lluviosos de Inglaterra (Rodgers y Kitching, 1998), así como en un bosque montañoso y de robles de Borneo para especies de hormigas y artrópodos (Simon y Linsenmair, 2001; Simon et al., 2003) y en el área circundante del Volcán Popocatepetl en comunidades de ácaros oribátidos y colémbolos (Palacios-Vargas, 1985).

La disminución de la abundancia y de la riqueza de colémbolos al incrementar la altura sobre el árbol puede estar influenciada por las características de la corteza de los mismos árboles, al ser más rugosa y porosa en la base que a los 2 m de altura, lo que permite la disminución de las especies de las epífitas, afectando de forma indirecta a las comunidades de los colémbolos.

Otro factor es la iluminación diferencial a distintas alturas del tronco, siendo más sombreada la base (André, 1983; Prinzing y Woas, 2003; Prinzing, 2005; Woda et al.,

2006). El valor más elevado del índice de diversidad se registra a los 2 m de altura (Cuadro 2). Allí se registra una mayor equitatividad. Estos valores contrastan con lo registrado por Traser et al. (2006) en el noroeste de Hungría.

La menor diversidad en las alturas 0 y 1 m, esta determinada por la dominancia de *A. arida* y *P. sensibilis* especies hemiedáficas que disminuyen su densidad al incrementarse la altura a la que se colectan. *Pseudisotoma sensibilis* se encuentra comunmente en musgos saxícolas y corticícolas (Stach, 1947). Sin embargo, Palacios-Vargas y Castaño-Meneses (2002) lo han registrado en bajas proporciones en *Tillandsia* spp. de un bosque templado en Hidalgo, México. Por otra parte, Mari-Mutt y Palacios-Vargas (1987) registran a *A. arida* en hojarasca, musgos saxícolas, hongos y en *Tillandsia* sp. en el estado de México, Morelos, Durango, D. F., Guerrero y Baja California. En el presente trabajo se registra por vez primera en musgos epífitos, por lo que esta especie amplía su intervalo de distribución de hábitat, por lo cual se infiere que se distribuye desde el suelo hasta el dosel de los bosques (Mari-Mutt y Palacios-Vargas, 1987; Palacios-Vargas y Castaño-Meneses, 2002).

En el dendrograma se forman dos grupos, uno integrado por las alturas de 1 y 2 m (Fig. 4), mismas que tienen una alta proporción de especies compartidas que pueden migrar a mayor altura para encontrar su alimento o bien evitar ser depredadas, además de que poseen características más epiedáficas que hemiedáficas (Gerson, 1969; Rusek, 1998; Johnston, 2000). El segundo grupo está formado sólo por la de 0 m de altura, misma que presenta especies que tienen características más de ser hemiedáficas (o incluso euedáficas) y poseer una menor capacidad de extender su distribución vertical (Christiansen, 1964). Sin embargo, y a pesar de poseer características hemiedáficas y euedáficas algunas de las especies que se registraron a 0 m pueden migrar a los primeros centímetros sobre la base de los árboles refugiándose de una humedad

excesiva que tienen los musgos epífitos o bien evitar la depredación, tal como puede ser el caso de las especies de los géneros *Xenylla*, *Neanura*, *Americanura* y *Micranurida* (Palacios-Vargas, 1985; García-Gómez, 2007)

La baja similitud que se encuentra entre las alturas de 0 y 2 m establece que cada una presenta su propia composición de especies; sin embargo, la variación en la riqueza específica y la abundancia se le atribuye al intercambio de especies que influyen en la composición de la comunidad y a las diferencias locales como la heterogeneidad del hábitat (Koleff et al., 2003; Prinzing, 2005). En este sentido, los colémbolos cambian su distribución vertical en respuesta a ciertas condiciones del hábitat y a las condiciones microclimáticas de los microhábitats y de las características ecológicas de las mismas especies (André, 1983; Prinzing y Woas, 2003; Prinzing, 2005).

En conclusión, la altura afecta de forma negativa a la abundancia y riqueza específica de las comunidades de Collembola, al disminuir sus valores conforme asciende la altura a la cual se tomaron las muestras, mientras que a la composición la modifica. Sin embargo, la densidad fue afectada de forma positiva al incrementar sus valores a mayor altura. La abundancia de *Xenylla* sp. nov. y *Folsomides angularis* se correlacionaron significativa y positivamente con la altura, en tanto que la de *Entomobrya* ca. *triangularis*, *Willowsia mexicana*, *Tomocerus minor* y *Ptenothrix marmorata* mostraron una correlación significativa y negativa. Estas especies pueden considerarse como indicadoras biológicas de esos microhábitats.

En resumen existe una estratificación vertical de la comunidad de colémbolos asociados a musgos corticícolas. Esta estratificación es favorecida por que distintas especies responden diferentemente a la altura, debido posiblemente a (a) diferencias en los niveles de iluminación, (b) diferencias en el efecto del viento, desecante y frío, (c)

las afinidades de las especies a distintos hábitats (hemiedáfico o epiedáfico), y (d) búsqueda de refugio contra la depredación.

Agradecimientos

Los autores reconocen la colaboración en el trabajo de campo de Aldo Bernal, Arturo García, Carmen Maldonado y Ricardo Iglesias. La investigación fue patrocinada en parte por el CONACYT y la beca otorgada por la DGEP-UNAM para los estudios de posgrado de LQCP.

Literatura citada

- André, H. M. 1983. Note on the ecology of corticolous epiphyte dwellers 2. *Collembola. Pedobiologia*, 25: 271-278.
- Andrew, N. y L. Rodgerson. 1999. Extracting invertebrates from bryophytes. *Journal of Insect Conservation*, 3: 53-55.
- Andrew, N., L. Rodgerson y M. Dunlop. 2003. Variation in invertebrates-bryophyte community structure at different spatial scales along altitudinal gradients. *Journal of Biogeography*, 30: 731-746.
- Bardgett, R. D y R. Cook. 1998. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grassland. *Applied Soil Ecology*, 10: 263-276.
- Begon, M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 1990. *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Blackwell, Melbourne.
- Charles, E. e Y. Basset. 2005. Vertical stratification of leaf-beetle assemblages (Coleoptera: Chrysomellidae) in two forest types in Panama. *Journal of Tropical Ecology*, 21: 329-336.

- Christiansen, K. A. 1964. Bionomics of Collembola. *Annual Review of Entomology*, 9: 147-178.
- Christiansen, K. A. y P. F. Bellinger, 1980-81. *The Collembola of North America of the Rio Grande, a taxonomical analysis*. Grinnell College, Grinnell, Iowa, 1322 pp.
- Cutz-Pool, L. Q., J. G. Palacios-Vargas y G. Castaño-Meneses. 2005. Diversidad y Abundancia de Colémbolos de musgos corticícolas en el Volcán Iztaccíhuatl (otoño 2003). *Entomología Mexicana*, 4: 171-175.
- Cutz-Pool, L. Q., J. G. Palacios-Vargas y G. Castaño-Meneses (En prensa). Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en musgos corticícolas en un gradiente altitudinal de un bosque templado subhúmedo. *Revista de Biología Tropical*.
- Franks, A. J. y D. M. Bergstrom. 2000. Corticolous bryophytes in microphyll fern forests of south-east Queensland: distribution on Antarctic beech (*Nothofagus moorei*). *Austral Ecology*, 25: 386-397.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. 90 pp.
- García-Gómez, A. 2007. Primer estudio de la fauna de colémbolos edáficos del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México, México. *Entomología Mexicana*, 6: 1431-1437.
- Gerson, U. 1969. Moss-arthropod association. *Bryologist*, 72: 495-500.
- Howell, B. C. 2002. *Statistical methods for psychology*. Pacific Grove ed., California, 802 pp.
- Janssens, F. 2007. [Checklist of the Collembola.](http://www.collembola.org/taxa/collembo.htm)
<http://www.collembola.org/taxa/collembo.htm>

- Janzen, D. H. 1981. The peak in North American ichneumonid species richness lies between $381/4$ and $421/4N$. *Ecology*, 62: 532–537.
- Johnston, J. M. 2000. The contribution of microarthropods to aboveground food webs: a review and model of belowground transfer in a coniferous forest. *The American Midland Naturalist*, 143: 226-238.
- Koleff, P., K. J. Gaston y J. J. Lennon. 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72: 367-382.
- Ludwing, J. A. y Reynolds. 1988. *Statistical ecology a primer on methods and computing*. Wiley. San Diego, California. 338 pp.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton New Jersey. 179 pp.
- Medianero, E., G. Castaño-Meneses, A. Tishechkin, Y. Basset, H. Barrios, F. Ødegaard, A. R. Cline y J. Bail. 2007. Influence of local illumination and plant composition on the spatial and seasonal distribution of litter-dwelling arthropods in a tropical rainforest. *Pedobiologia*, 51: 131-145.
- Mari-Mut, J. A. y J. G. Palacios-Vargas. 1987. *Americabrya*, a new genus of Entomobryidae (Collembola), with a redescription of *A. arida* (Christiansen and Bellinger) based on Mexican specimens and descriptive notes for *A. epiphita* (Loring). *Journal of the New York Entomological Society*, 95: 99-108.
- Palacios-Vargas, J. G. 1981. Collembola asociados a *Tillandsia Bromeliaceae* en el Derrame Láxico del Chichinautzin, Morelos, México. *Southwestern Entomologist*, 6: 87-98.

- Palacios-Vargas, J. G. 1985. Microartrópodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colémbolos). Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 132 pp.
- Palacios-Vargas, J. G. y J. A. Gómez-Anaya. 1993. Los Collembola (Hexapoda: Apterygota) de Chamela, Jalisco, México (Distribución ecológica y claves). *Folia Entomológica Mexicana*, 89: 1-34.
- Palacios-Vargas, J. G. y G. Castaño-Meneses. 2002. Collembola associated with *Tillandsia violacea* (Bromeliaceae) in Mexican *Quercus-Abies* forests. *Pedobiologia*, 46: 395-403.
- Pearson, D. L. 1977. A practical comparison of bird community structure on six lowland forest sites. *The Condor* 79: 232-244.
- Prinzing, A. 2005. Corticolous arthropods under climatic fluctuations: compensation is more important than migration. *Ecography*, 28: 17-28.
- Prinzing, A. y S. Woas. 2003. Habitat use stratification of Collembola and oribatid mites. Pp. 271-281. En: *Arthropods of tropical forest: spatio-temporal dynamics and resource use in the canopy*. Basset, Y., V. Novotny, S. E. Miller & R. L. Kitching (eds.). Cambridge University Press.
- Rahbek, C. 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 18: 200-205.
- Rahbek, C. 1997. The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. *American Naturalist*, 149: 875-902.
- Rodgers, D. J. y R. I. Kitching. 1998. Vertical stratification of rainforest collembolan (Collembola: Insecta) assemblages: description of ecological patterns and hypotheses concerning their generation. *Ecography*, 21: 392-400.

- Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207-1219.
- Simon, U. y K. E. Linsenmair. 2001. Arthropods in tropical oaks: differences in their spatial distributions within tree crowns. *Plant Ecology*, 153: 179-191.
- Simon, U., M. Gossner y K. E. Linsenmair. 2003. Distribution of ants and bark-beetles in crowns of tropical oaks. Pp. 59-68. *En*: Basset, Y., V. Novotny, S. E. Miller y R. L. Kitching (eds.). *Arthropods of tropical forests, Spatio-temporal dynamics and resource use in the canopy*. Cambridge University Press. USA.
- Sokal, R. R. y C. D. Michener. 1958. A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas Scientific Bulletin*, 38: 1409-1438.
- Stach, J. 1947. The Apterygotan fauna of Poland in relation to the world fauna of this group of insects: Family Isotomidae. *Acta Monographica Musei Historiae Naturalis*. 488 pp.
- StatSoft Inc. 1995. Statistical user guide. Complete Statistical System StatSoft. Oklahoma., U.S.A.
- Traser, G., P. Szücs y D. Winkler. 2006. Collembola diversity of moss habitats in the Sopron Region, NW-Hungary. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica*, 2: 69-80.
- Vidal-Zepeda, R. 2005. Las regiones climáticas de México. *Temas selectos de geografía de México*. Instituto de Geografía-UNAM, México, D. F., México. 212 pp.
- Woda, C., A. Huber y A. Dohrenbusch. 2006. Vegetación epífita y captación de neblina en bosques siempreverdes en la Cordillera Pelada, sur de Chile. *Bosque*, 27: 231-240.
- Wolf, J. H. D. 1993. Diversity patterns and biomass of epiphytic bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in the Northern Andes. *Annals of the Missouri Botanical Gardens*, 80: 928-960.

Zar, H. J. 1984. Biostatistical Analysis. 2^a. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey. 605 pp.

**7. Diversity Patterns of Collembola in an elevational gradient in the
NW slope of Iztaccíhuatl volcano, State of Mexico, Mexico.**

(Enviado a Animal Biodiversity and Conservation)

Cutz-Pool, Leopoldo Q^a., José G. Palacios-Vargas^a, Zenón Cano-Santana^b y Gabriela Castaño-Meneses^a.

Abstract

Data are presented about the pattern diversity of springtails in moss on bark along an elevational gradient (2,750-3,440 m s.n.m.) on the NW slope of Iztaccíhuatl Volcano, State of Mexico, Mexico. The study includes a sampling, carried out at seven elevations. Calculated indexes were: species richness (S), Shannon's diversity index (H'), Pielou's evenness index (J') and Simpson dominance (λ). A lineal regression analysis was made to evaluate the effect of elevation on the total springtails density. The total number of species was 30, 18 from the lowest elevation and nine from the highest. The greatest density was obtained at the higher elevation. *Pseudisotoma sensibilis*, *Willowsia mexicana* and *Americabrya arida* were the dominant species and there is a positive significant relationship between the elevation and their density. The greatest similarity between communities in agreement with dendrogram is between elevations 3, 115 and 3, 250, with near 80 %.

Key Words: Collembola, diversity, elevation, Iztaccíhuatl.

Resumen

Se presentan los patrones de diversidad de Collembola en musgos corticícolas a través de un gradiente altitudinal (2,750–3,440 m) en la vertiente noroeste del volcán Iztaccíhuatl, Estado de México. El estudio comprende un muestreo realizado en siete altitudes. Se calculó la riqueza específica (S) y los índices de diversidad de Shannon-Wiener (H'), equidad de Pielou (J') y dominancia de Simpson (λ). Se realizó un análisis de regresión lineal para evaluar el efecto de la altitud sobre la densidad total de los colémbolos. Se registraron en total 30 especies; en la altitud de 2,750 m se encontraron 18 especies, mientras que en la altitud de 3,440 m, sólo se obtuvieron nueve especies. La mayor densidad se obtuvo a mayor altitud. Las especies *Pseudisotoma sensibilis*, *Willowsia mexicana* y *Americabrya arida* fueron las dominantes. En estas especies se encontró un efecto positivo y significativo de la altitud sobre su densidad. La mayor similitud entre comunidades de acuerdo con el dendrograma se presentó entre las altitudes de 3115 y los 3 250 m s.n.m. con cerca del 80 %.

Palabras clave: Collembola, Diversidad, Altitud, Iztaccíhuatl.

^aEcología y Sistemática de Microartrópodos. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. 04510 México, D. F. 56 22 49 02 Fax: 56 22 48 28; cutzpool@yahoo.com

^bEcología de Artrópodos Terrestres, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM. 04510 México, D. F.

Introduction

The biodiversity has two main components at a specific level: the "richness", and the "composition" of the species (Chapin III et al., 2000; Worm and Duffy, 2003). The richness of any region is a consequence of two main factors: a) the richness of each of the small areas that composes a certain region, and b) the composition of the species in movement (Whittaker, 1960; Halffter and Moreno, 2005). One vast variety of animals and plants tend to show a decrease in their diversity with respect to the latitude, altitude and area size (Pianka, 1966; Lawton et al., 1987; Lomolino 2001; Willig et al., 2003; Küper et al., 2004; Rahbek, 2005; Fontaneto and Ricci, 2006).

The distribution patterns of the Collembola, with respect to the elevation, have shown different tendencies, as in Argentine soils (De Izarra, 1970) and communities of epiphytic moss in Mexico (Palacios-Vargas, 1985; Palacios-Vargas & Castaño-Meneses, 2002). For example, the richness and abundance tend to diminish with the elevation, whereas for communities of bark mosses (Cutz-Pool et al., 2005; Cutz-Pool et al, in press), an increase of abundance, as well as a decrease in the richness with respect to the elevation have been detected.

Studies on a local scale show that a change in the composition of arthropods sites with different vegetation composition can exist (Medianero et al., 2007). Also a succession in the richness and index of diversity can occur (Jiménez-Veverde et al., 2004). Such behaviour can be the result of many environmental variables affecting the distribution of the arthropods and the structure of the vegetation (Lian et al., 2002;

Hodkinson, 2005). In Mexico, a few studies have been made considering the relation that exists between species richness and the elevation gradient of the microarthropods, in particular on the Collembola (Palacios-Vargas, 1985; Palacios-Vargas and Castaño-Meneses, 2002; García-Gómez, 2005; Cutz-Pool et al., 2006; Cutz-Pool et al., under press).

The main objective of this contribution is to determine the variation in the diversity patterns and composition of the moss Collembola, in one elevation gradient on the NW slope of Iztaccíhuatl Volcano, State of Mexico, Mexico.

Material and methods

The present study was carried out on Iztaccíhuatl Volcano ($19^{\circ} 12' 66''$ - $19^{\circ} 12' 31''$ N and $98^{\circ} 44' 03''$ - $98^{\circ} 41' 55''$ W). This summit is located 64 km to the Southeast of Mexico City, near the Southern end of the Sierra Nevada mountains. The climate is temperate subhumid with rainy summers, Cb(Cw)(w) according to the classification of Köppen modified by García (2004; Vidal-Zepeda, 2005), with an average annual temperature of 14° C. The average annual precipitation is about 1,200 mm (Vargas-Márquez, 1984).

The types of soils in this zone are district regosols, lithosols, andosols mollic and eutritic ambisols. The zone of study included one altitudinal gradient from 2,750 to 3,440 m elevation; the dominant vegetation is shown in Table 1.

Table 1. Collect sites of springtails on bark moss in an elevational gradient on the Northwest slope of the Iztaccíhuatl Volcano.

Sites	Elevation (m)	Vegetation	Abundant species
I	2750	<i>Quercus</i> forest	<i>Quercus laurina</i> , <i>Buddeia cordata</i>
II	2830	<i>Quercus</i> forest	<i>Quercus laurina</i> , <i>Buddeia cordata</i>
III	2930	<i>Quercus</i> forest	<i>Quercus laurina</i> , <i>Buddeia cordata</i>
IV	3020	<i>Abies</i> forest	<i>A. religiosa</i>
V	3115	<i>Abies</i> forest	<i>A. religiosa</i>
VI	3250	<i>Abies</i> forest	<i>A. religiosa</i>
VII	3440	Pine forest	<i>Pinus hartwegii</i> , <i>Abies religiosa</i>

Seven elevations (Table 1) in the nw slope of the Volcano were selected. In each elevation, moss from bark of 10 trees was taken. Sampling was done in August 2005. The samples were 15 x15 cm each on the trees, at a height of 1,5 m. A total of 70 samples were obtained and placed in polyethylene bags, labeled, and transferred to the laboratory. In the laboratory, where samples were processed during six days, the fauna was extracted using Berlesse-Tullgren funnels.

The Collembola were sorted and counted under a dissecting microscope and some slides were made in Hoyer's solution for identification under a face contrast microscope. The relative abundance (%), the population densities (ind.m²), the Shannon-Wiener diversity (H'), the Pielou's evenness (J') and the Simpson dominance ($1/\lambda$) indices (Ludwing and Reynolds 1988) were calculated.

In order to determine if the samples really were representative, the curves of accumulation of species for each altitude were obtained. An analysis of cluster, using the index of similarity of Bray-Curtis was done

and one dendrogram using like method groups of “non twin” averages (UPGMA) were obtained. The similarity between clusters was tested by a similarity analysis (ANOSIM), following Clarke & Green (1988) and Clarke (1993). For these analyses the software Biodiversity Tr 3.0 (McAleece et al. 1997) was used.

The diversity indices were compared using a *t* test modified (Magurran, 1988; Zar, 1984), using the Bonferroni correction for multiple comparisons. In order to evaluate the effect of the elevation on the density of Collembola, a linear regression analysis was also applied. The statistical tests were made with the software STATISTICA, version 6.0 (Stat Soft, 1995).

Results:

The curves of species accumulation are shown in Fig 1. In all the cases the curve tends to reach the asymptote, which suggests the sampling was representative. These results indicate that values allow making trustworthy comparisons between the seven altitudes.

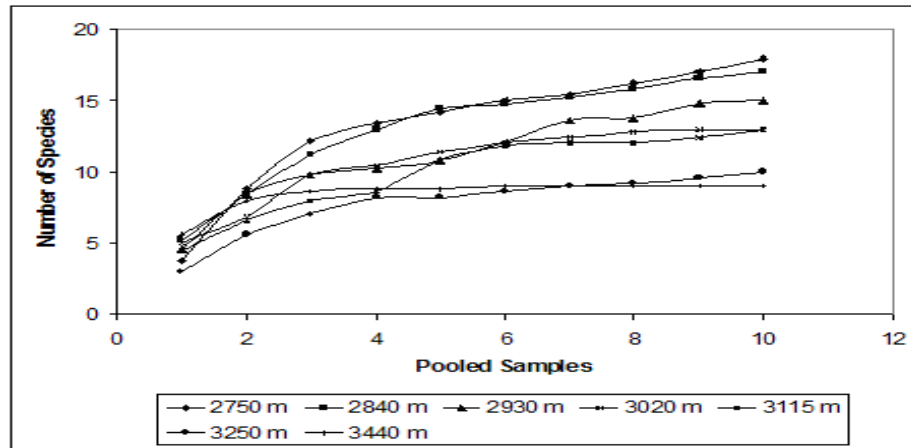


Fig. 1. Accumulation curves of the species at the seven elevations on Iztaccíhuatl Volcano, state of México, México.

A total of 2,230 specimens from ten families, 25 genera and 30 species were found in the seven elevations (Table 2). Usually with the increase of the elevation, there is decrease in the specific richness (Table 2). The species *Pseudisotoma sensibilis*, *Americabrya arida*, *Folsomides angularis*, *Hypogastrura leo*, *Pratanurida boernerii* and *Willowsia mexicana*, comprise 77 % of the total species. Other taxa represent the other 23% of the total fauna (Fig. 2).

At 2,830 m, *F. angularis* shows its highest relative abundance (65%), while *H. leo* records its highest values at 3,020 m (64 %), *A. arida* at 3,250 m (32 %), and *W. mexicana* (61 %) at 3,440 m (Fig. 3).

Highest values of diversity were recorded at elevations I (2.2) and II (1.8), with a smaller dominance and four species very abundant: *F. angularis*, *Sphaeridia pumilis*, *P. boernerii* and *Ptenothrix marmorata* (Table 2). The evenness was higher than in other elevations (Table 2).

Elevations I and VII were the only places which had significant statistical differences in their values of diversity ($t_{611}=2,57$, $p<0.05$).

In the dendrogram obtained with the cluster analysis, two groups can be observed, one formed with the two sites at lower elevation and other group with the other sites (Fig. 4). There is a clear isolation between the high elevations and the others. Results show that there is a unique composition of species for each site. Significant differences were obtained between the elevations, (ANOSIM test: $R =0.93$, using 1000 permutations).

Table 2. Density, species richness (S); diversity of Shannon-Weiner (H'), dominance ($1/\lambda$) and evenness (J') indices of springtails at seven elevations on Iztaccíhuatl volcano.

	I (ind/m ²)	II (ind/m ²)	III (ind/m ²)	IV (ind/m ²)	V (ind/m ²)	VI (ind/m ²)	VII (ind/m ²)
<i>Hypogastrura leo</i>			293	516			
<i>Ceratophysella</i> sp.		4			31		
<i>Xenylla</i> sp. nov.		4	9		9		
<i>X. grisea</i>				9			
<i>X. ca. subacauda</i>						36	
<i>X. welchi</i>				4			
<i>Brachystomella gabriela</i>		4					
<i>Friesea hoffmannorum</i>	44	36					
<i>Neanura muscorum</i>	9						
<i>Americanura</i> sp. nov.			13		13	18	36
<i>A.ca. izabalana</i>				4			
<i>Pseudachorutes subcrassus</i>	9		4	22	36	133	27
<i>Pratanurida boeneri</i>	102	178	89	93	76	62	
<i>Folsomides angularis</i>	418	750					
<i>Isotoma notabilis</i>	133	13	9				80
<i>Pseudisotoma sensibilis</i>	9	4	427	738	218	169	1436
<i>Entomobrya ca. triangularis</i>				71	9		213
<i>Americabrya arida</i>	62	160	129	236	422	489	31
<i>Willowsia mexicana</i>	44	31	36	13	27	49	307
<i>Seira purpurea</i>	9	13	27	18	9	9	
<i>Lepidocyrtus ca. lanuginosus</i>		18	4	93	62	178	44
<i>Tomocerus minor</i>	36						
<i>Pogonognatellus flavescens</i>			4				
<i>Sminthurides</i> sp.	4		9				
<i>Sphaeridia pumilis</i>	156	98	4				
<i>S. serrata</i>	18	44					
<i>Sminthurinus conchyliatus</i>	13	62			18		
<i>S. quadrimaculatus</i>	53	40		13	4	9	27
<i>Ptenothrix marmorata</i>	102	31	9				
<i>Megalothorax minimus</i>	4						
ind/m ²	1226.7	1502.2	1066.7	1831.1	933.3	1151.1	2200.0
S	18	17	15	13	13	10	9
H'	2.2	1.8	1.69	1.64	1.71	1.72	1.21
$1/\lambda$	0.16	0.28	0.25	0.26	0.27	0.24	0.45
J'	0.78	0.63	0.62	0.64	0.66	0.74	0.55

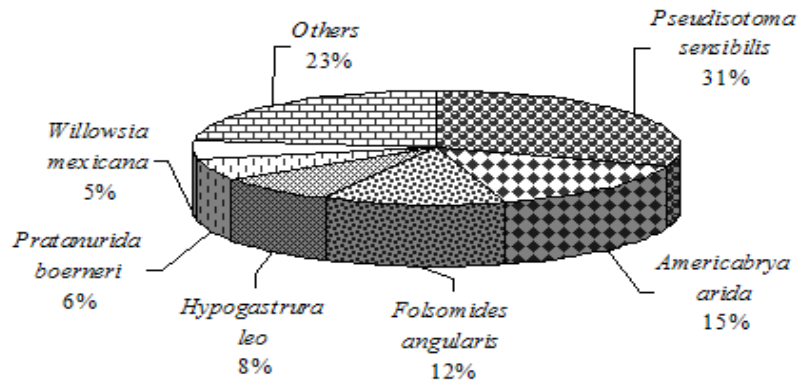


Fig. 2. Relative abundance of Collembola along an elevational gradient.

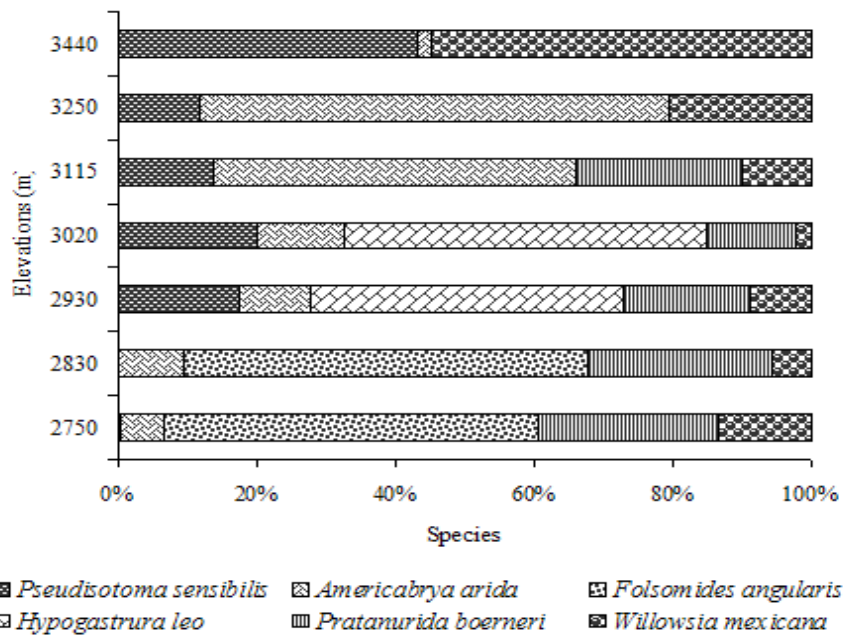


Fig. 3. Relative abundance of six main species of bark-moss springtails at seven elevations.

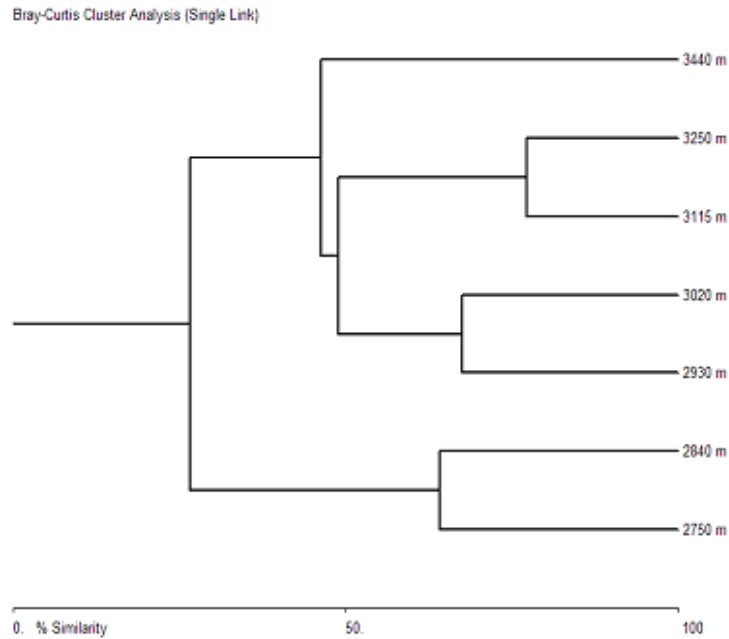


Fig.4. Dendrogram showing the relationship of springtails communities at seven altitudes on the NW Iztaccíhuatl volcano slope.

The total density of Collembola as a group did not show any significant relationship with the elevation. On the other hand, if we consider each species isolate, there is a significant correlation (g. l. =68, $p < 0.05$) of the abundance and the elevation for *Friesea hoffmannorum* ($r = - 0.43$), *Neanura muscorum* ($r = - 0.26$), *P. boernerii* ($r = - 0.27$), *F. angularis* ($r = - 0.31$), *Tomocerus minor* ($r = - 0.30$), *S. pumilis* ($r = - 0.42$), *S. serrata* ($r = - 0.24$), *Sminthurinus conchyliatus* ($r = - 0.28$) and *P. marmorata* ($r = - 0.49$). There is also a positive and significant correlation between the density and elevation (g. l. =68, $p < 0.05$) for *Americanura* sp. nov. ($r = 0.40$), *Pseudachorutes subcrassus* ($r = 0.33$), *P. sensibilis* ($r = 0.26$), *Entomobrya ca. triangularis* ($r = 0.30$), *W. mexicana* ($r = 0.44$), and *Lepidocyrtus ca. lanuginosus* ($r = 0.32$).

Discussion

Species richness decreases when elevation increases, because of more permanent extreme weather conditions, since temperatures decrease at high elevations, this affects the species richness (Hodkinson, 2005). So the low temperatures can limit the species distribution, mainly at elevations VI and VII. This behaviour has also been recorded in the Central Pyrenees in France (Cassagnau, 1961; Lauga-Reyrel and Lauga, 1995), in soils from Argentina (De Izarra, 1970), in Mexico in epiphytic mosses (Palacios-Vargas, 1985), and in *Tillandsia violacea* in one *Quercus-Abies* forest (Palacios-Vargas & Castaño-Meneses, 2002).

Nevertheless, this was not the same case regarding the density of the species, which increased in relation to the increase of elevation. With respect to the increase of the abundance with higher elevation, it has been documented that in certain Mesostigmata, where also exists an increase in populations in the mountains of Tibet in China (Shen et. al., 2005), and for Collembola in Argentinean soils (De Izarra, 1970).

Diversity index values (H') were greater for elevations I and II, in comparison with those obtained at other elevations (Table 2). This indicates a bigger species richness, and more homogeneous distribution of the same species in the samples of the first elevation. These values are common for low elevations as it has been demonstrated by Cassagnau (1961) and Lauga-Reyrel and Lauga (1995) in the central Pyrenees in France. The low diversity of elevation VII, is mainly because there are two very abundant species, *P. sensibilis* and *W. mexicana* which increased their density in this altitude. These species have adaptability

to a great variety of environments, and have particular ecological requirements for the microclimatic conditions, when those conditions are extreme. They usually have a tendency to adapt to more stable habitats, such as moss, to protect against the biotic changes that appear in different elevations (Gaea, 1964, 1966; Garson, 1969; Mari-Mutt & Palacios-Vargas, 1987; Smrž, 1992). *P. sensibilis* is frequently found in moss from rocks and barks in a high elevation range from 1, 300 to 3, 100 m (Stanch, 1947), therefore it's elevation distribution range is known. On the other hand, Zhang et al. (2007) registered *W. mexicana* in bark and litter, between elevations from 750 to 2, 900 m; therefore in this study it was observed that its range of distribution reaches 3, 440 m.

In the dendrogram (Fig. 4) the first group that forms the elevations I and II has in common a high proportion of habitat vegetal cover and moss diversity for the Collembola. In addition, this group has the highest values of specific and environmental diversity. The second group, formed by elevations from III to VII, has a low specific diversity and smaller environmental diversity.

The relative low similarity between elevations I and VII suggests that each one displays its own composition of species, nevertheless, the variation of the richness and their abundances are due to the interchange of species that influence the composition of the community and to the local differences, such as the heterogeneity of the habitat (Addison et al., 2003; Willig et al., 2003; Hoyle & Harborne, 2005; Chauvat et al., 2007). In this sense, the mosaic of vegetation and moss allows the Collembola to change its distribution in answer to the conditions of the environment

(Christiansen, 1964; André, 1983; González-Cairo et al., 2003; Chauvat et al., 2007).

In conclusion, it was registered that the elevation affects the composition and abundance of the communities of Collembola, as well as to the specific richness and the diversity when they decrease with higher elevations. The species that were significantly and negatively correlated with the elevation are *F. hoffmannorum*, *N. muscorum*, *P. boernerii*, *F. angularis*, *T. minor*, *S. pumilis*, *S. serrata*, *S. conchyliatus* and *P. marmorata*.

On the other hand, *Americanura* sp. nov., *P. subcrassus*, *P. sensibilis*, *E. ca. triangularis*, *W. mexicana* and *L. ca. lanuginosus* show a big affinity to the higher elevations, therefore they give an indicator of particularly cold environments and biological indicators.

Acknowledgments

Authors appreciate the collaboration for the field work of Aldo Bernal, Arturo García, and Carmen Maldonado. Ricardo Iglesias reviewed the manuscript and give important suggestions. This research was partially supported by CONACyT and one scholarship given by DGEP-UNAM to LQCP as postgraduate student. This manuscript was kindly reviewed by Lawrence Ross and Luis Parra.

References

Addison, J. A., Trofynow, J. A. & Marshall, V. G., 2003. Abundance, species diversity, and community structure of Collembola in

- successional coastal temperate forest on Vancouver Island, Canada. *Applied Soil Ecology*, 24: 233-246.
- André, H. M., 1983. Notes on the ecology of corticolous epiphyte dwellers 2. Collembola. *Pedobiologia*, 25: 271-278.
- Cassagnau, P., 1961. Écologie du sol dans les Pyrénées centrales. Les biocenosis des Collemboles. Hermann, Paris. 235 pp.
- Chapin III, F. S., Zavaleta, E. S., Eviners, V. T., Taylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., Hooper, D. U., Lavorel, S., Sala, O. E., Hobbie, S. E., Mack, M. C. & Díaz, S., 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405: 234-242.
- Chauvat, M., Wolters, V. & Dauber, J., 2007. Response of collembolan communities to land-use change and grassland succession. *Ecography*, 30: 183-192.
- Christiansen, K. A., 1964. Bionomics of Collembola. *Annual Review of Entomology*, 9:147-178.
- Clarke, K. R., 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Aust. J. Ecol*, 18: 117-143.
- Clarke, K, R & R. H. Green., 1988. Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 213-226.
- Cutz-Pool, L. Q., Palacios-Vargas, J. G. & Castaño-Meneses, G., 2005. Diversidad y abundancia de colémbolos de musgos corticícolas en el Volcán Iztaccíhuatl. *Entomología Mexicana*, 4: 171-175.
- Cutz-Pool, L. Q., García-Gómez, A. & Bernal-Rojas, A., 2006. Variación estacional de los invertebrados asociados a musgos corticícolas en

- la parte NW del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México, México. *Entomología Mexicana*, 5: 227-231.
- Cutz-Pool, L. Q., Palacios-Vargas, J. G. & Castaño-Meneses, G., En prensa. Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en musgos corticícolas en un gradiente altitudinal de un bosque templado subhúmedo. *Revista de Biología Tropical*.
- de Izarra, D. C., 1970. Distribución altitudinal de la microfauna edáfica en el Cerro Ventana (Prov. Buenos Aires, Argentina). *Acta Zoológica Lilloana*, 27: 5-24.
- Fontaneto, D. & Ricci, C., 2006. Spatial gradients in species diversity of microscopic animals: the case bdelloid rotifers at high altitude. *Journal of Biogeography*, 33: 1305-1313.
- Gadea, E., 1964. La zoocenosis muscícola en los biotopos altimontanos. *P. Inst. Biol. Apl.*, 36: 113-120.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. 90 pp.
- García-Gómez, A., 2005. Estudio preliminar de comunidades de colémbolos asociados a suelo y hojarasca, en un gradiente altitudinal del Iztaccíhuatl. *Entomología Mexicana*, 4: 157-162.
- Gerson, U., 1969. Moss-arthropod associations. *Bryologist*, 72: 495-500.
- González-Cairo, V., Díaz-Aspiazu, M. & Prieto-Trueba, D., 2003. Influencia de la cobertura vegetal sobre las comunidades de la mesofauna edáfica en parcelas experimentales de caña de azúcar. *Revista Biología*, 17: 18-26.

- Halffter, G. & Moreno, C. E., 2005. Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gama. *In: Sobre diversidad biológica: El significado de las Diversidades alfa, beta y gama.* Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (ed.). m3m-Monografías 3er Milenio, vol. 4. SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS & CONACYT, Zaragoza, p. 5-18.
- Hodkinson, I. D., 2005. Terrestrial insects along elevation gradients: species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, 80: 489-513.
- Hoyle, M. & Harborne, A., 2005. Mixed effects of habitat fragmentation on species richness and community structure in a microarthropod microecosystem. *Ecological Entomology*, 30: 684-691.
- Jiménez-Valverde, A., Martín-Cano, J. & Munguira, M. L., 2004. Patrones de diversidad de la fauna de mariposas del Parque Nacional de Cabañeros y su entorno (Ciudad Real, España Central) (Lepidoptera, Papilionoidea, Hesperioidea). *Animal Biodiversity and Conservation*, 27: 15-24.
- Küper, W., Kreft, H., Nieder, J., Köster, N. & Barthlott, W., 2004. Large-scale diversity patterns of vascular epiphytes in Neotropical montane rain forests. *Journal of Biogeography*, 31: 1477-1487.
- Lauga-Reyrel, F. & Lauga, J., 1995. Collembola of Pyrenean habitats. *European Journal of Soil Biology*, 31: 217-229.
- Lawton, J. H., MacGarvin M. & Heads, P. A., 1987. Effect of altitude on the abundance and species richness of insect herbivores on bracken. *Journal of Animal Ecology*, 56: 147-160.

- Lian, P. K., Navjot, S. S., Hugh-Tiang, W. T. & Kelvin, S. H., 2002. Factors affecting the distribution of vascular plants, springtails, butterflies and birds on small tropical islands. *Journal of Biogeography*, 29: 93-108.
- Lomolino, M. V., 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10: 3-13.
- Ludwing, J. A. & Reynolds, J. F., 1988. Statistical ecology: A primer on methods and computing. Wiley. USA. 338 pp.
- Magurran, A. E., 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey. USA. 179 pp.
- Mari-Mut, J. A. & Palacios-Vargas, J. G., 1987. *Americabrya*, a new genus of Entomobryidae (Collembola), with a redescription of *A. arida* (Christiansen and Bellinger) based on Mexican specimens and descriptive notes for *A. epiphyta* (Lorong). *Journal New York Entomological Society*, 95: 99-108.
- McAleece, N., P.J.D. Lamshead, G.L.J. Patterson & J.D. Gage., 1997. BioDiversity Pro. version 2. A program for analyzing ecological data. The Natural History Museum and the Scottish Association for Marine Science, at <http://www.nhm.ac.uk/zoology/bdpro>.
- Medianero, E., Castaño-Meneses, G., Tishechkin, A., Basset, Y., Barrios, H., Ødegaard, F., Cline, A. R. & Bail, J., 2007. Influence of local illumination and plant composition on the spatial and seasonal distribution of litter-dwelling arthropods in a tropical rainforest. *Pedobiologia*, 51: 131-145.

- Palacios-Vargas, J. G., 1985. Microartrópodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros e insectos colémbolos). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 132 pp.
- Palacios-Vargas, J. G. & Castaño-Meneses, G., 2002. Collembola associated with *Tillandsia violaceae* (Bromeliaceae) in Mexican *Quercus-Abies* forests. *Pedobiología*, 46: 395-403.
- Pianka, E. R., 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *American Naturalist*, 100: 33-46.
- Rahbek, P., 2005. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology Letters*, 8: 224-239.
- Stach, J., 1947. The Apterygotan fauna of Poland in relation to the World-fauna of this group of insects: Family Isotomidae. *Acta Monographica Musei Historiae Naturalis*. 488 pp.
- Shen, J., Torstein, S., Wang, H., Thor, I. & Xu, R., 2005. Differences in soil arthropods communities along a high altitude gradient at Shergyla Mountain, Tibet, China. *Artic. Antarctic and Alpine Research*, 37: 261-266.
- Smrž, J., 1992. The ecology of the microarthropod community inhabiting the moss cover of roofs. *Pedobiologia*, 36: 331-341.
- StatSoft, In., 1995. Statistical user guide. Complete statistical system statsoft. Oklahoma. USA.
- Vargas-Márquez, F., 1984. Parques Nacionales de México y reservas equivalentes. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, D. F., México. 266 pp.

- Vidal-Zepeda, R., 2005. Las regiones climáticas de México. Temas selectos de geografía de México. Instituto de Geografía-UNAM, México, D. F., México. 212 pp.
- Whittaker, R. H., 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.*, 30: 279-338.
- Willig, M. R., Kaufman, D. M. & Stevens, R. D., 2003. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution & Systematic*, 34: 273-307.
- Worm, B. & Duffy, J. E., 2003. Biodiversity, productivity and stability in real food webs. *Trends in Ecology and Evolution*, 12: 628-632.
- Zar, H. J., 1984. Biostatistical analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 605 pp.
- Zhang, F., Palacios-Vargas, J. G. & Jian-Xiu, C., 2007. The genus *Willowsia* and Its Mexican species (Collembola: Entomobryidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 100: 36-40

8. Discusión general

Los listados de la fauna de colémbolos obtenidos en el presente estudio, involucran a 36 especies de las cuales 24 son nuevos registros, lo que incrementa en un 21% del conocimiento que se tienen de los colémbolos en el estado de México. Los 24 nuevos registros aumentan a 131 las especies para el estado, ya que con anterioridad se citan 107 especies (Palacios-Vargas *et al.* 2000, 2004, 2007). Por lo que, de acuerdo a la información anterior el estado de México viene a ser el estado con mayor riqueza reportada (131) entre otros como Veracruz (129 especies), Quintana Roo (107 especies) y Guerrero (95) (Palacios-Vargas *et al.* 2000,2004).

Al considerar la riqueza de especies (36), obtenida del muestro para los diferentes estratos y altitudes sobre el nivel del mar del bosque templado subhúmedo, debe considerarse que el método de recolecta utilizado puede ser muy específico o bien algo general para el enfoque de éste estudio, por lo que existen especies que han sido registradas en trabajos previos en la zona para distintos biotopos (García-Gómez 2007; García-Gómez y Cutz-Pool en prensa), de tal manera que podría existir una subestimación de la riqueza en esta parte del bosque templado subhúmedo del estado de México.

Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados del presente estudio ofrecen una aproximación del conocimiento de la estructura de las comunidades de colémbolos en esta parte de la República Mexicana, ya que al muestrear distintos estratos sobre el árbol y en un rango altitudinal, se obtiene un panorama sobre la estratificación vertical y altitudinal entre las comunidades de colémbolos pertenecientes a cada uno de los tipos de bosques representados en la vertiente noroeste del Iztaccíhuatl, lo que proporciona una idea de la estructura de las comunidades para este tipo de bosque y de clima, templado subhúmedo.

En el interior de los musgos probablemente se establecen relaciones entre los colémbolos muscícolas y el musgo ya que este último ejerce la función de resguardo o refugio contra depredadores, condiciones extremas de temperatura y humedad. Los musgos albergan recursos alimenticios para los colémbolos, al mismo tiempo que éstos últimos hacen la función de dispersores de las esporas de los musgos al diseminarlas (Gadea 1964; Gerson 1969; Bauer 1985; Rusek 1998; Johnston 2000). La altitud afecta en cierta medida la distribución espacial de los colémbolos muscícolas, al encontrarse una disminución sobre la riqueza y diversidad de la comunidad de los organismos y un cambio en su composición. Este patrón se debe a que la altitud modifica las condiciones climáticas del medio (Miller 1957; Barry 1981) afectando la distribución y abundancia de los organismos (Krebs 1985; Begon *et al.* 1996).

Las características morfológicas de los musgos les permite tener una estabilidad a variaciones microclimáticas, es decir, pueden sobrevivir en condiciones ambientales extremas, por ejemplo en ambientes áridos o a grandes altitudes sobre el nivel del mar (Franks y Bergstrom 2000). Por otra parte, la altitud es un factor ecológico importante en la distribución de la biocenosis muscícola, dicho factor resulta decisivo principalmente por los cambios climáticos que determinan y tienen un papel trascendental en la individualización de las comunidades (Hodkinson 2005).

Entre las características físicas y químicas que permiten a los musgos corticícolas establecerse en la corteza de los árboles, se encuentra el porcentaje de humedad absorbida por los árboles, la intensidad de la luz recibida, la temperatura del aire, el pH de la corteza, la talla del árbol, el tipo de corteza, la inclinación del árbol y la altitud (Patterson 1940; Prinzing 2005; Woda et al. 2006). Estos factores determinan la distribución espacial de los musgos y constituyen la complejidad de los microhábitas. De los factores anteriores, el contenido de humedad retenida por la corteza del árbol y

el pH son las limitantes para el desarrollo de las comunidades de los musgos méxicos y xéricos (Patterson 1940; Franks y Bergstrom 2000; Prinzing 2005). El microhábitat que constituyen los musgos corticícolas ha sido medianamente tomado en cuenta sobre los estudios para este sustrato. Por lo anterior, existe poca información al respecto sobre las comunidades asociadas a él y las interacciones que en ellas se puedan establecer (Bonet *et al.* 1972; Acón 1975; André 1976, 1983; André y Lebrun 1979; Villanueva y Jordana 1988).

Identificar factores que puedan influir sobre la estructura de las comunidades ha sido un tema fundamentalmente ecológico, en particular en el caso de los colémbolos asociados a musgos saxícolas y en particular corticícolas, la aproximación en la comprensión de éstos llevan fuertes implicaciones para la conservación de un hábitat (André 1983; Andrew y Rodgeron 1999; Gonzalez y Chaneton 2002; Prinzing y Woas 2003; Hoyle 2004). Las condiciones ambientales, tales como la precipitación, la temperatura y la disponibilidad de alimento son factores reconocidos que afectan a las comunidades de los colémbolos en diferentes ambientes incluyendo los musgos (Andrew *et al.* 2003; Hodkinson 2005; Hoyle y Harborne 2005). En los bosques templados el recambio de especies viene a ser evidente, mostrando una variación estacional muy grande. En este estudio se encontró que durante la temporada de sequía, la abundancia y densidad de la comunidad de colémbolos, es casi tres veces menor a lo registrado en la época de lluvias (sequía: 583; lluvias: 1, 591 ejemplares). Asimismo, la diversidad disminuye de manera significativa, lo cual se refleja en un cambio estacional muy evidente en la composición de las comunidades (Capítulo 5). Las variaciones estacionales en la composición de las comunidades son resultado de la modificación en recursos que están asociados a la estacionalidad. El estudio demostró que durante la época de lluvias *P. subcrassus*, *F. angularis*, *P. sensibilis*, *A. arida* y *W. mexicana*

constituyen el grupo dominante, mientras que en la temporada de sequía fueron más abundantes *A. arida* y *S. knowltoni*. En estos últimos su notoriedad fue observada a mayor altitud (Capítulo 5 y 7). En los bosques templados, donde existe una marcada estacionalidad, el papel de los musgos puede ser determinante, por ello la explicación de encontrar mayor abundancia de *A. arida* y *S. knowltoni* en la temporada de sequía a mayor altitud (Capítulos 5 y 7), ya que en condiciones climáticas adversas, la asociación con los musgos ofrece ventajas para poder subsistir en este medio (Franks y Bergstrom 2000; Hodkinson 2005).

Se pudieron obtener datos sobre las especies que habitan en los musgos corticícolas: *H. leo*, *P. subcrassus*, *P. boernerii*, *F. angularis*, *I. notabilis*, *P. sensibilis*, *E. ca. triangularis*, *A. arida*, *W. mexicana* y *L. ca. lanuginosus*, ya que fueron las especies más abundantes en los medios corticícolas y sus hábitos alimentarios son esencialmente detritívoros y descomponedores. En los sitios de menor altitud existe una mayor diversidad de hábitats encontrándose varias especies de musgos (Capítulo 4), por lo que se incrementa la distribución de hábitat para los mismos colémbolos, tal como observaron Bonet *et al.* (1972), Palacios-Vargas (1985) y Andrew *et al.* (2003). En el presente estudio se observó que cuando se incrementa la altitud se aprecia que dos o tres especies son dominantes y se reduce mucho la riqueza específica y la diversidad de las mismas, no obstante la gran abundancia que se pudo obtener a mayor altura y altitud (Capítulos 5, 6 y 7).

Los colémbolos ejercen en los musgos la acción de diseminadores y dispersores de esporas y reciclantes de nutrientes, a cambio ellos obtienen alimento y refugio (Gadea 1964; Gerson 1969; Rusek 1998; Jonhston 2000).

Los musgos ofrecen un ambiente estable que permite que muchos colémbolos lo ocupen durante la temporadas de secas o bien a grandes altitudes (Cutz-Pool *et al.* en

prensa, Andrew *et al.* 2003). En este estudio se encontró que en la época de secas la ocupación de este medio fue por 15 especies siendo más reducida el número a mayor altitud (Capítulos 5 y 7). De tal forma que se tienen movimientos estacionales, por lo que se explica la diferencia estacional en la composición (Capítulo 5 y 6).

Por otro lado, la relación entre la altitud, la abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades de invertebrados artrópodos, muestran algunas tendencias de decremento conforme se asciende a un gradiente altitudinal (Pianka 1966; Lawton *et al.* 1987; Lomolino 2001), por lo que la relación entre diversidad y altitud se hace evidente. Los patrones de distribución de los colémbolos con respecto a la altitud, han mostrado tendencias variables, ya que en suelos argentinos (De Izarra 1970) y comunidades de musgos epífitos en México (Palacios-Vargas 1985; Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2002), la riqueza y abundancia tienden a disminuir con la altitud, mientras que para comunidades de musgos corticícolas (Cutz-Pool *et al.* 2005) se ha detectado un aumento en la abundancia respecto a la altitud. La altitud es considerada uno de los factores más importantes para la estructura de las comunidades de colémbolos en musgos corticícolas, ya que existe una estrecha relación con el clima al cambiar la temperatura cuando se asciende dicha altitud (Hodkinson 2005).

En lo que respecta a los límites de distribución altitudinal y ecológica de *P. sensibilis* y *F. angolaris* estas dos especies se encuentran en el intervalo de su distribución altitudinal de acuerdo con Stach (1947), Kováč y Palacios-Vargas (1996) y Palacios-Vargas y Castaño-Meneses (2002) (Capítulos 5 y 7). Mientras que *P. subcrassus*, *E. ca. triangularis*, *A. arida*, *W. mexicana*, *L. ca. lanuginosus* y *S. quadrimaculatus* amplían su patrón de distribución altitudinal a los 3, 440 m s.n.m (Capítulo 7), cuando era conocido que estas especies tienen sus límites de distribución

altitudinal entre los 2, 750-3, 250 m s.n.m. (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2002; Cutz-Pool *et al.* 2005; Zhang *et al.* 2007).

En los patrones de diversidad (Capítulo 7), evaluado en el presente trabajo, se determinó que la altitud afecta a la riqueza al declinar conforme se incrementa dicha altitud. Esto es como consecuencia de una mayor severidad climática (bajas temperaturas) que se verifica en las altitudes más elevadas, lo que determina indirectamente la disminución de la riqueza específica (Hodkinson 2005). De tal modo, que las bajas temperaturas limitan la distribución de la mayoría de las especies, particularmente en las altitudes VI y VII (Capítulo 7), mientras que a menor altitud, aumenta la distribución en el mismo gradiente altitudinal. Esta disminución de la riqueza se ha registrado por Cassagnau (1961) y Lauga-Rey & Lauga (1995) en los Pirineos en Francia, De Izarra (1970) para suelos argentinos y Palacios-Vargas (1985) y Palacios-Vargas y Castaño-Meneses (2002) en musgos epífitos y bosque de *Quercus* – *Abies* para México.

La baja diversidad y riqueza del piso VII está asociada a la dominancia de dos especies muy abundantes: *Pseudisotoma sensibilis* y *W. mexicana* quienes incrementaron su densidad en este piso (Capítulo 7). Estas especies poseen una amplia adaptación a una gran variedad de ambientes y tienen requerimientos ecológicos particulares para las condiciones microclimáticas cuando son críticas. Tienden a adaptarse a un hábitat más estable como lo es el musgo, al protegerse de los cambios abióticos que se presentan en las diferentes altitudes (Gadea 1964; MacArthur *et al.* 1966; Gerson 1969; Mari-Mutt y Palacios-Vargas 1987; Smrž 1992).

Las comunidades de colémbolos de altitudes muy parecidas en composición conformaron un grupo (Capítulo 7) y otro grupo lo conformaron los pisos VI y VII (Capítulo 7). La baja similitud entre los pisos I y VII, sugieren que cada una presenta su

propia composición de especies, sin embargo, la variación de la riqueza y sus abundancias son atribuibles al intercambio de especies que influyen en la composición de la comunidad y a las diferencias locales, tales como la heterogeneidad del hábitat (Addison *et al.* 2003; Willig *et al.* 2003; Hoyle y Harborne 2005; Chauvat *et al.* 2007). Según algunos autores, el mosaico de vegetación y muscícola permite a los colémbolos cambiar su distribución en respuesta a las condiciones del ambiente (Christiansen 1964; André 1983; González-Cairo *et al.* 2003; Chauvat *et al.* 2007).

La altitud afectó a la composición y abundancia de Collembola (Capítulo 5 y 7). Las especies que se correlacionaron significativa y negativamente con la altitud fueron *Friesea hoffmanorum*, *Neanura muscorum*, *Pratanurida beorneri*, *Folsomides angularis*, *Tomocerus minor*, *Sphaeridia pumilis*, *S. serrata*, *Sminthurinus conchyliatus* y *Ptenothriz marmorata*. Por otra parte, *Americanura* sp. nov., *Pseudachorutes subcrassus*, *Pseudisotoma sensibilis*, *Eentomobrya ca. triangularis*, *Willowsia mexicana* y *Lpidocyrtus ca. lanuginosus*, pueden considerarse como especies indicadoras de ambientes fríos (Capítulos 5 y 7).

9. Literatura citada

- Acón, M. 1975. Colémbolos de musgos corticícolas del Valle de Hecho, Pirineo Aragonés. Nota I. *Graellsia*, 30: 173-186.
- Addison, J. A., J. A. Trofynow y V. G. Marshall. 2003. Abundance, species diversity, and community structure of Collembola in sucesional coastal temperate forest on Vancouver Island, Canada. *Applied Soil Ecology*, 24: 233-246.
- André, H. M. 1976. Introduction à l'étude écologique des communautés de microarthropodes corticoles soumises a la pollution atmosphérique. I. Les microhabitats corticoles. *Bulletin d'Ecologie*, 7: 331-444.
- André, H. M. 1983. Notes on the ecology of corticolous epiphyte dwellers. 2. Collembola. *Pedobiología*, 25: 271-278.
- André, H. y P. Lebrun. 1979. Quantitative comparison of the funnel and the brushing methods for extracting corticolous micro-arthropods. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 26: 252-256.
- Andrew, N. y L. Rodgerson. 1999. Extracting invertebrates from bryophytes. *Journal of Insect Conservation*, 3: 53-55.
- Andrew, N., L. Rodgerson y M. Dunlop. 2003. Variation in invertebrate-bryophyte community structure at different spatial scales along altitudinal gradients. *Journal of Biogeography*, 30: 731-746.
- Barry, R. G. 1981. *Mountain weather and climate*. Methuen. E. U. A. 313 pp.
- Bauer, T. 1985. Beetles which use a setal trap to hunt springtails (Collembola) of Eurasian polar deserts. *Russian Journal of Zoology*, 1: 177-184.
- Begon, M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 1996. *Ecology. Individuals, populations and communities*. Blackwell Science, Lombardia, Italia. 1068 pp.

- Bonet, L., P. Cassagnau y D. C. de Izarra. 1972. Étude écologique des Collemboles muscicoles du Sidobre (Tarn). III. Répartition des especès en fonction des biotopes. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 1: 263-279.
- Cassagnau, P., 1961. Écologie du sol dans les Pyrénées centrales. Les biocenosis des Collemboles. Hermann, París. Francia. 235 pp.
- Chauvat, M., Wolters, V. y Dauber, J., 2007. Response of collembolan communities to land-use change and grassland succession. *Ecography*, 30: 183-192.
- Christiansen, K. A., 1964. Bionomics of Collembola. *Annual Review of Entomology*, 9: 147-178.
- Cutz-Pool, L. Q., J. G. Palacios-Vargas y G. Castaño-Meneses. 2005. Diversidad y abundancia de colémbolos de musgos corticícolas en el Volcán Iztaccíhuatl. *Entomología Mexicana*, 4: 171- 175.
- Cutz-Pool, L. Q., J. G. Palacios-Vargas y G. Castaño-Meneses. *En prensa*. Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en musgos corticícolas en un gradiente altitudinal de un bosque templado subhúmedo. *Revista de Biología Tropical*.
- De Izarra, D. C. 1970. Distribución altitudinal de la microfauna edáfica en el Cerro Ventana (Prov. Buenos Aires, Argentina). *Acta Zoológica Lilloana*, 27: 5-24.
- Franks, A. J. y D. M. Bergstrom. 2000. Corticolous bryophytes in microphyll fern forests of south-east Queensland: distribution on Antarctic beech (*Nothofagus moorei*). *Austral Ecology*, 25: 386-397.
- Gadea, E. 1964. La zoocenosis muscícola en los biotopos altimontanos. *Publicaciones Instituto de Biología Aplicada*, 36: 113-120.
- García-Gómez, A. 2007. Primer estudio de la fauna de colémbolos edáficos del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México, México. *Entomología Mexicana*, 6: 1431-1437.

- García-Gómez, A. y L. Q. Cutz-Pool. En prensa. Nueva *Willemia* del grupo *Anphthalma* (Collembola: Hypogastruridae) del Volcán Iztaccíhuatl. *Acta Zoológica Mexicana*.
- Gerson, U. 1969. Moss-arthropod associations. *Bryologist*, 72: 495-500.
- González, A. y E. J. Chaneton. 2002. Heterotroph species extinction, abundance and biomass dynamics in an experimentally fragmented microecosystem. *Journal of Animal Ecology*, 71: 694-602.
- González-Cairo, V., M. Díaz-Aspiazu y D. Prieto-Trueba. 2003. Influencia de la cobertura vegetal sobre las comunidades de la mesofauna edáfica en parcelas experimentales de caña de azúcar. *Revista Biología*, 17: 18-26.
- Hodkinson, I. D. 2005. Terrestrial insects along elevation gradients: species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, 80: 489-513.
- Hoyle, M. 2004. Causes of the species-area relationship by trophic level in a field-based microecosystem. *Proceedings Royal Society London Biological Sciences*, 271: 1159-1164.
- Hoyle, M. y A. R. Harborne. 2005. Mixed affects of habitat fragmentation on species richness and community structure in a microarthropod microecosystem. *Journal of Animal Ecology*, 30: 684-691.
- Jonhston, J. M. 2000. The contribution of microarthropods to aboveground food webs: a review and model of belowground transfer in a conifereus forest. *The American Midland Naturalist*, 143: 226-238.
- Kováč, L y J. G. Palacios-Vargas. 1996. A survey of Mexican *Folsomides* (Collembola: Isotomidae) with description of three new species. *European Journal Entomology*, 93: 595-606.

- Krebs, C. J. 1985. *Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia*. Harla. México, D. F. 753 pp.
- MacArthur, R., H. Recher y M. Cody. 1966. On the relation between habitat selection and species diversity. *American Naturalist*, 100: 319-332.
- Mari-Mutt, J. A. y J. G. Palacios-Vargas. 1987. *Americabrya*, a new genus of Entomobryidae (Collembola), with a redescription of *A. arida* (Christiansen and Bellinger) based on Mexican specimens and descriptive notes for *A. epiphyta* (Lorong). *Journal New York Entomologyca Society*, 95: 99-108.
- Miller, A. A. 1957. *Climatología*. Omega, Barcelona, España. 376 pp.
- Lauga-Reyrel, F. y J. Lauga. 1995. Collembola of Pyrenean habitats. *European Journal of Soil Biology*, 31: 217-229.
- Lawton, J. H., M. MacGarvin y P. A. Heads. 1987. Effect of altitude on the abundance and species richness of insect herbivores on bracken. *Journal of Animal Ecology*, 56: 147-160.
- Lomolino, M. V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10: 3-13.
- Palacios-Vargas, J. G. 1985. Microartrópodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros e insectos colémbolos). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México 132 pp.
- Palacios-Vargas, J. G. y G. Castaño-Meneses. 2002. Collembola associated with *Tillandsia violaceae* (Bromeliaceae) in Mexican *Quercus-Abies* forests. *Pedobiologia*, 46: 395-403.
- Palacios-Vargas, J. G., G. Castaño-Meneses y B. E. Mejía-Recamier. 2000. Collembola. Pp. 249-273. In: Llorente-Bousquets, J., E. González-Soriano y N. Papayero (eds.),

- Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. UNAM. México, D. F.
- Palacios-Vargas, J. G., D. A. Estrada-Bárceñas y J. Paniagua. 2004. Collembola. Pp. 271-281. *In: Luna, I. y J. J. Morrone (eds.). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las prensas de Ciencias, México, D. F.
- Palacios-Vargas, J. G., L. Q. Cutz-Pool y D. A. Estrada-Barceñas. 2007. Collembola. Pp. 113-126. *In: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds.), Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, Las Prensas de Ciencias, México, D. F.
- Patterson, P. M. 1940. Corticolous bryophyte societies at Mountain Lake, Virginia. *The American Midland Naturalist*, 23: 421-441.
- Pianka, E. R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *American Naturalist*, 100: 33-46
- Prinzing, A. 2005. Corticolous arthropods under climatic fluctuations: compensation is more important than migration. *Ecography*, 28: 17-28
- Prinzing, A. y S. Woas. 2003. Habitat use and stratification of Collembola and oribatids mites. Pp. 271-281. *En: Arthropods of tropical forests: spatio-temporal dynamics and resource use in the canopy*. Basset, Y., V. Novotny, S. E. Miller y R. L. Kitching. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, EUA.
- Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207-1219.
- Smrž, J. 1992. The ecology of the microarthropod community inhabiting the moss cover of roofs. *Pedobiologia*, 36: 331-341.

- Stach, J. 1947. The Apterygotan fauna of Poland in relation to the World-fauna of this group of insects: Family: Isotomidae. *Acta Monographica Musei Historiae Naturalis*, 1-488 pp.
- Villanueva, F. y R. Jordana. 1988. Estudio de la fauna colembológica muscícola de cinco comunidades del género *Quercus* en Navarra, España. *Actas III Congreso Ibérico de Entomología*, Pp. 597-606, Granada, España.
- Willig, M. R., D. M. Kaufman y R. D. Stevens. 2003. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale and synthesis. *Annual Review Ecology Evolution Systematic*, 34: 273-307.
- Zhang, F., J. G. Palacios-Vargas y C. Jian-Xiu. 2007. The genus *Willowsia* and its Mexican species (Collembola: Entomobryidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 100: 36-40