

Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda: Collembola) en musgos corticícolas en el gradiente altitudinal de un bosque subhúmedo de México

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

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

Recibido 29-I-2007. Corregido 22-VI-2007. Aceptado 31-X-2007.

Abstract: Structure of the Collembolan community (Hexapoda: Collembola) in bark mosses along an altitudinal gradient of a subhumid forest in Mexico. The structure of the community of moss springtails on oak and fir bark in the forests at the NW slope of Iztaccíhuatl Volcano, State of Mexico, is analyzed. The study included four samplings (November 2003, March-June-August 2004), carried out in three altitudes I: 2 750 m, II: 2 930 and 3 250 m a.s.l. Calculated indexes were: species richness (S), Shannon's 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 24 (altitude I=17, altitude II=14, altitude III=13). The greatest density was at altitude III and the highest species richness at altitude I. *Americabrya arida* and *Willowsia mexicana* were dominant. There is a positive significant effect of altitude on their density. The highest Sørensen similarity between communities was 59 % (altitudes II and III). Rev. Biol. Trop. 56 (2): 739-748. Epub 2008 June 30.

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, 1982, Acón y Simón 1979, Villanueva y Jordana 1988, Smrz 1992, Andrew y Rodgersson 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 (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, temperatura del aire, pH de la corteza, talla del árbol, rugosidad de corteza, 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 méxicos 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°12'66"-19°12'31" N y 98°44'03"-98°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 msnm; la vegetación predominante es bosque de encino y bosque de pino-encino (A. Ponce, com. pers.).

Se efectuaron cuatro muestreos (noviembre del 2003, marzo, junio y agosto del 2004) en tres pisos altitudinales (I=2 750; II=2 930; III=3 250 msnm). Se realizó un transecto de 20x4 m², marcándose al azar cinco árboles de *Quercus laurina* (Pisos I y II) y cinco 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 15x15 cm (225 cm²), para un total de 180 muestras.

Las muestras se procesaron en el 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 (H'), el de equitatividad de Pielou (J'), y el de dominancia de Simpson (1/λ, también se puede denotar como 1/D), de acuerdo con Ludwig y Reynolds (1988). Se calculó el índice de similitud de Sørensen 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 (Magurran 1988, Zar 1984), utilizando la corrección de Bonferroni para corregir las comparaciones múltiples (altitudes $\alpha=0.05/4=0.01$; fechas $\alpha=0.05/4=0.01$). 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 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 8 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).

A lo largo del gradiente existen familias de Collembola que aparecen 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 (Cuadro 1).

La aportación de la abundancia 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 el 4% y el 15%, y en tercer lugar los Symphypleona, quienes aportaron del 1 al 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 Symphypleona en el piso I (10%).

Asimismo, se analizó la abundancia de los colémbolos por fechas de recolecta y por piso altitudinal, efectuando el ANOVA de dos vías. Esta prueba mostró un efecto estadísticamente significativo de la fecha de recolecta ($F_{3,176}=32.08$, $p<0.05$) y la altitud ($F_{2,177}=7.00$, $p<0.05$), sobre la densidad de colémbolos. De acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, las diferencias ocurren entre los distintos meses y entre las altitudes I y II (Fig. 2).

Índices de diversidad (H'), Equitatividad (J') y Dominancia (1/λ): 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

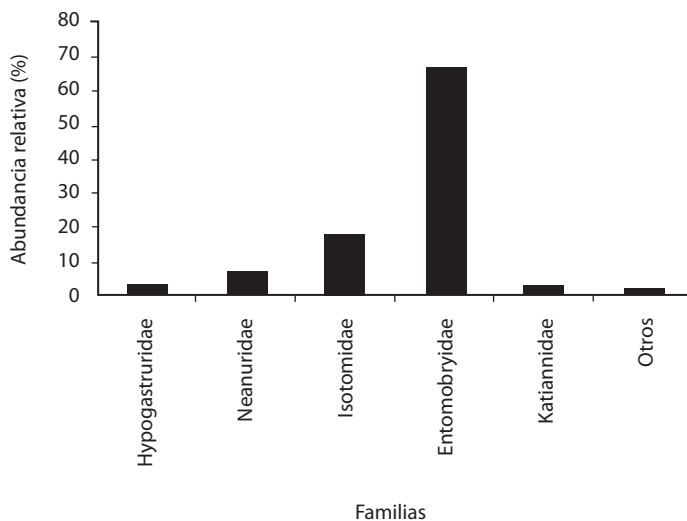


Fig. 1. Porcentaje promedio de las Familias de Collembola colectadas en tres altitudes en el Volcán Iztaccihuatl. Otros incluyen a Tomoceridae, Sminthurididae y Dicyrtomidae.

Fig. 1. Mean percentage of the Collembolan families collected at three altitudes in the Iztaccihuatl Volcano. Others include Tomoceridae, Sminthurididae and Dicyrtomidae.

CUADRO 1

Especies de colémbolos registrados para la parte Noroeste del Volcán Iztaccihuatl, Estado de México

TABLE 1

Springtails species recorded at Northwest slope of Iztaccihuatl 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 thermophylus</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'=diversidad de Shannon, 1/λ=dominancia de Simpson y J'=equitatividad de colémbolos en tres altitudes en el Volcán Iztaccihuatl. I=2 750 msnm, II =2 930 msnm, III=3 250 msnm.

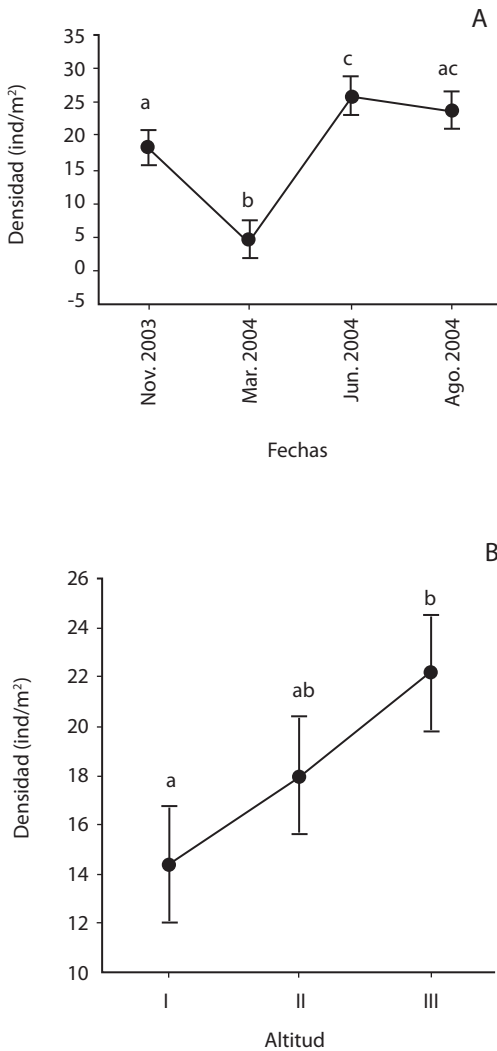


Fig. 2. A) Variación de la densidad de Collembola con respecto a las fechas de recolecta y B) Variación de la densidad de Collembola con respecto a la altitud. Letras diferentes denotan diferencias significativas de acuerdo a la prueba *post hoc* de Tukey ($p < 0.05$).

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* Tukey test ($p < 0.05$).

específica, y 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 ($H' = 1.89$), además del mayor número de especies abundantes y especies muy abundantes. La mayor riqueza de especies se obtuvo en junio y agosto de 2004 (20 especies). En noviembre de 2003 se presentaron 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).

La prueba de *t* mostró que no existen diferencias significativas entre los índices de diversidad para los pisos I vs. III ($t_{922} = 2.23$, $p > 0.05$), mientras que para los pisos I vs. II ($t_{1005} = 2.43$, $p < 0.05$) y II vs. III ($t_{1278} = 5.43$, $p < 0.05$), sí existen diferencias significativas.

Por otro lado, al comparar los índices de diversidad de Shannon entre las fechas de recolecta de todos los pisos altitudinales, se encontraron diferencias significativas entre noviembre de 2003 vs. marzo de 2004 ($t_{84} = 2.64$, $p < 0.05$); noviembre vs. junio de 2004 ($t_{1349} = 4.12$, $p < 0.05$) y noviembre de 2003 vs. agosto de 2004 ($t_{1242} = 4.45$, $p < 0.05$).

En la altitud de 2,750 m la mayor diversidad se obtuvo en agosto de 2004, con $H' = 1.93$, mientras que la mayor equitatividad se registró en marzo del mismo año ($J' = 1.17$). 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, la mayor diversidad se 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, la mayor diversidad fue registrada para marzo de 2004 ($H' = 1.64$), asimismo, se registró la mayor equitatividad con $J' = 1.41$. Los datos agrupados en esta altitud mostraron $H' = 1.89$, $\lambda = 0.22$ y $J' = 0.62$ (Fig. 3).

CUADRO 2
Índices de diversidad en la parte Noroeste del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México

TABLE 2
Diversity indices in the Northwest slope of Iztaccíhuatl Volcano, State of Mexico

Índices de Diversidad/Fecha	Noviembre 2003	Marzo 2004	Junio 2004	Agosto 2004
S	12	11	20	19
H'	0.99	1.77	1.71	1.89
J'	0.40	0.73	0.45	0.62
1/λ	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/λ=Dominancia, N₁=Abundante, N₂=Muy Abundante.

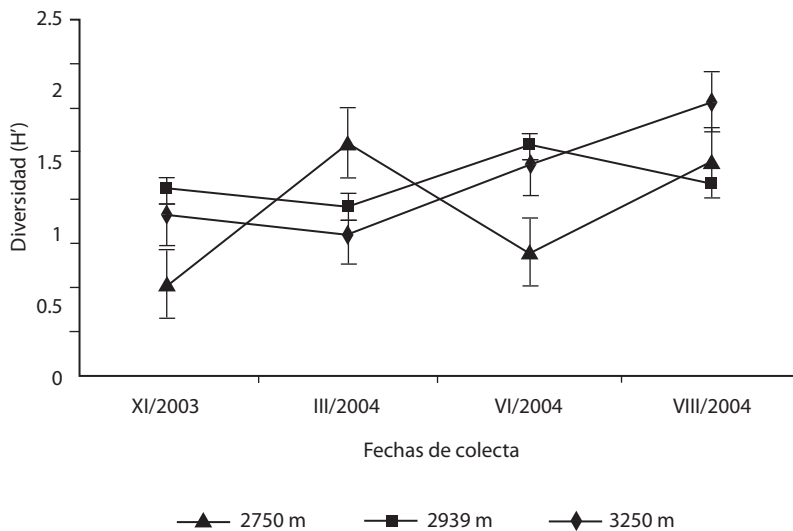


Fig. 3. Variación temporal en el índice de Shannon para los colémbolos colectados en tres altitudes de la ladera noroeste del Volcán Iztaccíhuatl, Estado de México, México.

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

Coefficiente de Similitud de Sørensen: al relacionar el número de especies en común, con la media aritmética de las especies, en los tres pisos altitudinales, y siguiendo la comparación entre los pisos, se obtiene el mayor porcentaje de semejanza, con un 59%, en la composición de las comunidades de colémbolos entre el piso II vs. III, seguido por la combinación entre los

pisos I vs. II con el 58%, y por último, los pisos altitudinales I vs. III con el 46%.

DISCUSIÓN

La composición de la fauna de colémbolos para este estudio, fue de 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 son: 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 (Cutz-Pool *et al.* 2005, Palacios-Vargas 1985).

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, Kovác 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) tienen un efecto significativo en el establecimiento de las poblaciones de colémbolos en nuestro estudio, de tal forma, que la distribución y la abundancia de los organismos, 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 abundancia de Entomobryidae, presente en la altitud III, se debe a que las especies encontradas 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, y a su vez, la formación de un microhábitat propicio para el desarrollo de la mayoría de las especies (Cuadro 1) (Palacios-Vargas 1981a, b, 1985, Mari-Mutt y Palacios-Vargas 1987, Cutz-Pool *et al.* 2005).

La mayor abundancia de *Americabrya arida*, con respecto al total de los organismos, 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 gradientes altitudinales.

En la altitud I, *F. 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 msnm en epífitas. Por lo que podría ser considerada como una especie propia de altitudes, de alrededor de los 2 350 a los 2 750 m, así como para los musgos (Kovác y Palacios-Vargas 1996).

La diversidad y equitatividad más baja ($H' = 1.28$ y $J' = 0.48$) fueron registradas en el piso III. Tales diferencias, con respecto a las altitudes I y II, 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), ésto corresponde a lo encontrado previamente (Cutz-Pool *et al.* 2005), y se corrobora una vez más. 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 al disminuir la diversidad (H'), conforme se incrementa la altitud, pasando lo contrario con 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 las abundancias de los colémbolos, y entre las fechas de muestreo y la abundancia. 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. Frans Janssens revisó el *abstract*.

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 NW del Volcán Iztaccihuatl, 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 snm. En cada altitud, se calculó la riqueza de especies (S), los índices de diversidad de Shannon (H'), Equitatividad de Pielou (J') y, dominancia de Simpson (λ).

Se utilizó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) para evaluar el efecto de la altitud y fecha de muestreo, sobre la densidad total de los colémbolos. 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 de acuerdo con el índice de Sørensen se presentó entre las altitudes II y III, con un 59%.

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

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. & Ph. Lebrun. 1979. Quantitative Comparison of the funnel and the brushing methods for Extracting Corticolous Microarthropods. 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.

- 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. Biol. Sol. 6: 447-460.
- Delgadillo, M.C. & M.A. Cárdenas-S. 1990. Manual Briofitas. Cuadernos del Instituto de Biología, No. 8. UNAM, México D.F., México.
- 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. Instituto de Geografía, UNAM, México D.F., México.
- 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, Nueva York, EEUU.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton, Nueva Jersey. EEUU.
- 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 San Angel, México, D.F. Entomol. News 92: 42-44.
- Palacios-Vargas, J.G. 1985. Microarthropodos del Popocatepetl (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colémbolos). Tesis Doctoral, UNAM, México D.F., México.
- 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 Societes 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. Microarthropodos asociados a musgos en Contreras, México, D. F. III Simposio de Zoología, II Congreso Latinoamericano de Teriología. Sociedad Cubana de Zoología, La Habana, Cuba.

- Riverón, G.R. 1985. Conocimiento de la artropodofauna asociada a musgos en la localidad altimontana del Estado de Morelos, México. Tesis de Licenciatura, UNAM, México D.F., México.
- 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, UNAM, México D.F.
- 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, Granada, España.
- Wolda, H. 1987. Altitud, habitat and tropical insect diversity. *Biol. J. Linn. Soc.* 30: 313-323.
- Zar, H.J. 1984. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, EEUU.