

Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda) del dosel de un bosque mesófilo en Hidalgo, México

Community structure of canopy springtails (Hexapoda) from a montane cloud forest of Hidalgo, Mexico

José G. Palacios-Vargas ¹ | Gabriela Castaño-Meneses ^{1,2*} | Leticia Valladares ¹

- Recibido: 13/feb/2020
- Aceptado: 26/oct/2020
- Publicación en línea: 03/nov/2020

Citación: Palacios-Vargas JG, Castaño-Meneses G, Valladares L. 2021. Estructura de la comunidad de colémbolos (Hexapoda) del dosel de un bosque mesófilo en Hidalgo, México. *Caldasia* 43(1):149-160. doi: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v43n1.85130>.

ABSTRACT

Diversity, richness, and abundance of Collembola communities from the canopy of a montane cloud forest at Hidalgo State, Mexico were studied, through the rainy and drought seasons in 2004 and 2005, using natural piretrine insecticide in three areas: one at the border close to the road, a second one at an intermediate distance, and a third one in the internal and better preserved area. A total of 5267 springtails from eleven families and 22 genera were obtained, of them, 4377 (83 %) belong to the rainy season, and 890 (17 %) at drought. Most abundant families were Hypogasturidae (with cases such as *Schoettella distincta* and *Xenylla* sp.), Entomobryidae (*Entomobrya* sp., *Orchesella* sp. and *Willowsia mexicana*), Paronellidae (*Salina* sp.), and Dicyrtomidae (*Dicyrtoma* sp.). In the internal area, 1586 (30 %) springtails were collected, the highest abundance was presented at the intermediate area with 2157 (41 %) specimens. The lowest amount was recorded at the border area with 1527 (29 %). Diversity and equitability indexes were calculated and the effect of sampling season and site on the abundance of Collembola were estimated. A significant variation in composition, abundance, and diversity of the community was observed between both seasons, and the border effect has a significant influence in springtails composition in the canopy, with more cosmopolite groups in the border area.

Keywords. Edge effect, fogging, piretrines, seasonality

¹ Ecología y Sistemática de Microartrópodos, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, UNAM, 04510, Ciudad de México. E-mail: troglolaphysa@hotmail.com; lety_valla@hotmail.com

² Ecología de Artrópodos en Ambientes Extremos, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM, Campus Juriquilla. Boulevard Juriquilla 3001, Jurica, 76230, Juriquilla, Querétaro, México. E-mail: gabycast99@hotmail.com

* Autor para correspondencia



RESUMEN

Se estudió la diversidad, riqueza y abundancia de Collembola, en el dosel de un bosque mesófilo en el Estado de Hidalgo, México, durante las estaciones lluviosa y seca de 2004 y 2005, mediante fumigaciones con Piretrinas naturales en tres áreas: una en la zona de borde cerca del camino, otra ubicada a una distancia intermedia, y la tercera en la zona más interna y conservada. Se recolectó un total de 5267 colémbolos representando once familias y 22 géneros, de ellos 4377 (83 %) corresponden a la temporada de lluvias, y 890 (17 %) a la de sequía. Las familias con mayor abundancia fueron Hypogasturidae (con casos como *Schoettella distincta* y *Xenylla* sp.), Entomobryidae (*Entomobrya* sp., *Orchesella* sp. y *Willowsia mexicana*), Paronellidae (*Salina* sp.) y Dicyrtomidae (*Dicyrtoma* sp.). En la zona interna se recolectaron 1586 (30 %) colémbolos y la mayor abundancia se registró en la zona intermedia, con 2157 (41 %) especímenes. Los valores menores fueron para el área de borde con 1527 (29 %) ejemplares. Se calcularon también los índices de diversidad y equitatividad, y el efecto de la temporada de recolección y sitio sobre la abundancia. Se encontraron diferencias significativas en la abundancia, composición y diversidad de las comunidades en las dos estaciones, y el efecto de borde también tiene una influencia significativa en la composición de la comunidad de colémbolos del dosel, con mayor cantidad de grupos considerados como cosmopolitas en la zona de borde.

Palabras clave. Efecto de borde, Fumigación, Piretrinas, Variación estacional

INTRODUCCIÓN

Se considera que más del 40 % de las especies que habitan el planeta se encuentran en el dosel de los bosques, con un porcentaje de endemismos que se calcula cerca del 10 %, lo que hace a este ambiente, una de las fronteras bióticas (Erwin 1983, Ozanne *et al.* 2003, Stork *et al.* 2015). De hecho, debido a la diversidad que alberga, su complejidad e importancia, el dosel de los bosques fue considerado por Erwin (1983), como la última frontera biótica, no obstante, es uno de los ambientes que se encuentra en mayor riesgo por la deforestación, fragmentación de hábitat y el cambio climático (Nadkarni y Solano 2002, Heino *et al.* 2015, We-deux y Coomes 2015). Según Nadkarni (1995), el dosel de los bosques incluye el follaje, ramas, ramillas y epífitas, es decir, todos los elementos de la vegetación por arriba del suelo y se pueden identificar distintos estratos (Basset *et al.* 2003), que varían en cuanto a sus características morfológicas y ecofisiológicas (Koike *et al.* 2001). El presente estudio se ha enfocado al denominado dosel superior.

Los cambios espaciales y temporales del dosel (Wirth *et al.* 2001), se deben a los distintos procesos ecofisiológicos que se realizan ahí dado que conforman una de las fuentes

principales de los procesos fotosintéticos, así como de evapotranspiración e intercepción de humedad y nutrimentos atmosféricos, los que generan heterogeneidad ambiental, dotándolo de características únicas (Ozanne *et al.* 2003, Nakamura *et al.* 2017).

Muchas de las especies de microartrópodos que colonizan continuamente el dosel de los bosques, utilizan los recursos que allí se encuentran, invadiendo todos los nichos imaginables (Erwin 1995), lo que ofrece oportunidades para una estratificación vertical, rutas de tránsito, lugares de escondite, o de alimento que aprovechan y explotan (Southwood 1978, Rodgers y Kitching 1998, Ozanne *et al.* 2003, Yoshida y Hilli 2005). Así mismo, los organismos pueden mostrar adaptaciones particulares para explotar los recursos existentes en este ambiente. Algunos grupos que habitan el dosel solamente lo ocupan temporalmente, y otros son habitantes permanentes sin ninguna relación con el suelo del bosque (Walter y Behan-Pelletier 1999, Winchester *et al.* 1999, 2008). Inclusive hay grupos, como los colémbolos de la familia Sturmiidae, cuyas tres especies conocidas en el mundo, sólo se han encontrado en el dosel y medios asociados (Castaño-Meneses y Palacios-Vargas 2011).

El papel de los colémbolos en el dosel es tan importante como en el suelo, especialmente en espacios donde hay acumulación de materia orgánica, por su actividad en los ciclos de descomposición, integración de la materia orgánica y por su abundancia, puesto que también resulta una fuente potencial de alimento para otros artrópodos y si bien no constituyen uno de los grupos más diversos de artrópodos, sí representan uno de los más dominantes en términos de abundancia en el dosel (Kitching *et al.* 1993, 1993, Guilbert *et al.* 1995, Palacios-Vargas *et al.* 1998, 1999, Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003, Castaño-Meneses *et al.* 2006, Rodgers y Kitching 2011).

Sus patrones de distribución en el dosel varían tanto espacial como temporalmente, generando una fuerte estratificación vertical, que se extiende desde el suelo del bosque hasta la cubierta superior (Rodger y Kitching 1998), dependiendo de la disponibilidad de recursos. Muchas especies comparten el hábitat, lo que sugiere que la migración vertical es un proceso importante en la construcción de comunidades arbóreas (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003, Yoshida y Hijii 2005). Sin embargo, algunas están restringidas al entorno del dosel, principalmente porque están asociadas a las plantas epífitas (Bretfeld 1994, Palacios-Vargas y González 1995).

La fragmentación del hábitat es una de las mayores causas de pérdida de biodiversidad en los bosques (Tabarelli *et al.* 2004) dado el efecto negativo que tiene sobre la biota, y es una de las mayores presiones a las que están sometidos los bosques, en particular los mesófilos en México (Williams-Linera 2002). También se ha observado que las condiciones cambian por el efecto de borde, siendo los efectos negativos más acentuados en los bordes que en las áreas más internas (Williams-Linera 1990, Mesquita *et al.* 1999). Estudios realizados con colémbolos de dosel en plantaciones de coníferas, han mostrado que no existe un efecto de borde en su distribución en este tipo de ambiente, aunque se sugiere realizar muestreos más exhaustivos y que los patrones encontrados no necesariamente se comparten con otros tipos de bosque con condiciones y características distintas (Shaw *et al.* 2007). Los colémbolos del dosel en México han sido estudiados tanto en bosques tropicales caducifolios, como bosques tropicales y bosques templados (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003), pero no se tienen registros en el bosque mesófilo de montaña, excepto para algunas especies que se han encontrado asociadas a epífitas (Palacios-Vargas *et al.* 2012).

Los objetivos principales de este trabajo son: 1, analizar la diversidad, riqueza y abundancia de la comunidad de

colémbolos del dosel de un bosque mesófilo de montaña en Hidalgo en dos estaciones del año; 2, ver si existen diferencias por efecto de borde y 3, comparar con las comunidades de colémbolos de otros tipos de vegetación en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

Hidalgo es el tercer estado de la República Mexicana con mayor superficie ocupada por Bosque Mesófilo de Montaña (Luna Vega *et al.* 2000), después de Oaxaca y Chiapas (Ortega y Castillo 1996); sin embargo, se encuentra seriamente amenazado y altamente fragmentado; a pesar de ello contiene el 34 % de la riqueza florística considerada para este tipo de vegetación en el país. En dicho estado, los bosques de Tlanchinol son los mejor conservados. El municipio de Tlanchinol se encuentra al norte del estado de Hidalgo. Según Puig (1976), el bosque mesófilo de montaña está determinado por las condiciones bioclimáticas más que por sus suelos ya que éstos son muy diversos tanto por su origen como por su evolución.

La zona de estudio está ubicada a 1 km al norte del poblado de Tlanchinol, en un sitio denominado “La Cabaña” (21°1.36' N, 98°38.56' O), a una altitud que va de los 1462 a los 1489 m (Fig. 1). Presenta árboles que alcanzan alturas entre los 30 y 35 m (Rzedowski 1996, Luna *et al.* 1994), con especies como *Liquidambar macrophylla* Oerst., *Magnolia schiedeana* Schlecht., *Pinus greggii* Engelm. ex. Parl., *P. patula* Schltdl. & Cham., *Quercus eugeniifolia* Liebm., *Q. sapotifolia* Liebm., *Q. sartorii* Liebm., y *Podocarpus reichei* J. Buchholz & N.E. Gray (Luna y Alcántara 2004). La copa de los árboles es generalmente ovoide o redonda, y está formada por follaje denso (Luna *et al.* 1994).

Presenta un clima semicálido húmedo, denotado por (A) C (fm) w"b (i') g, según la clasificación de Köppen modificada por García (1981), que corresponde a un cálido subhúmedo. Se caracteriza por tener abundantes lluvias como resultado de la influencia de vientos húmedos y del efecto de los ciclones tropicales, durante los meses de mayo a septiembre con canícula, verano fresco y largo; es en general templado, con una temperatura media del mes más frío entre 3 y 18°C, una precipitación anual de 2601 mm (Luna *et al.* 1994, SEDESOL 2002, García 2004).

Trabajo de campo

Los ejemplares de colémbolos fueron obtenidos a partir del estudio de fumigación adelantado por Márquez *et al.*

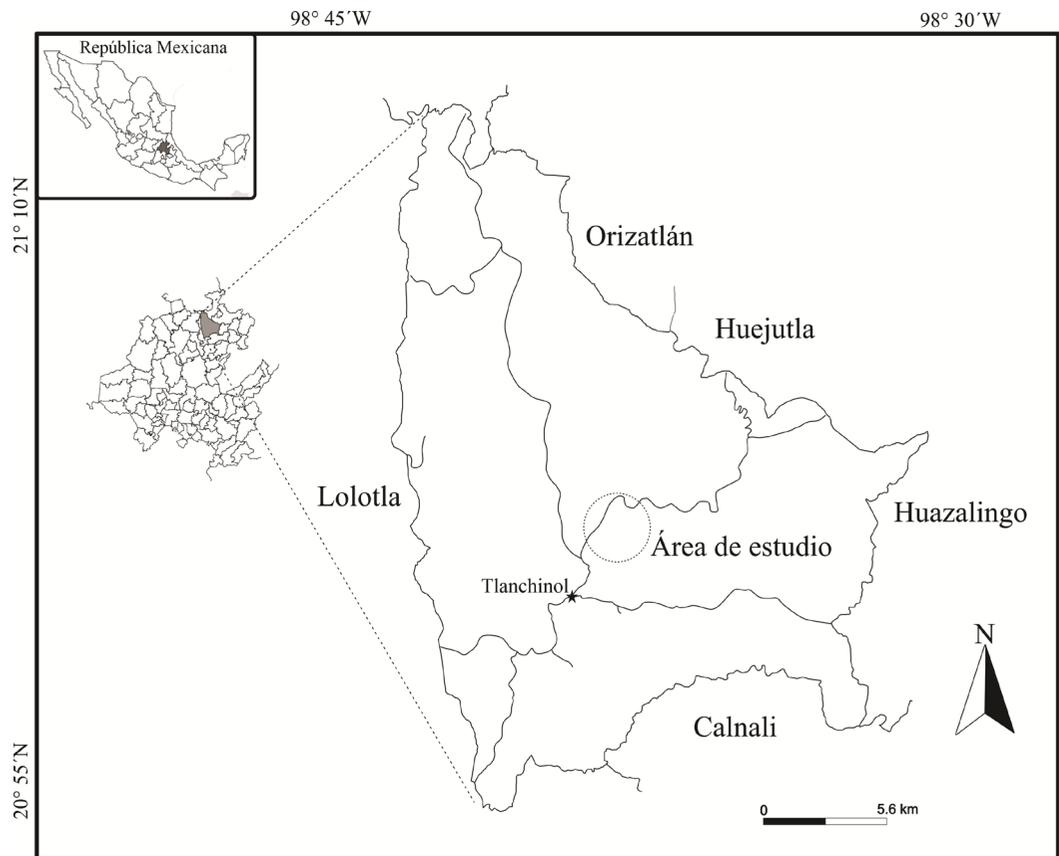


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el Municipio de Tlanchinol, estado de Hidalgo, México.

(2019). Se realizaron cinco fumigaciones entre las 4:00 y 6:00 h de la mañana, durante la temporada de lluvias, en los meses de julio, agosto y septiembre de 2004, y dos en la temporada seca, en marzo y mayo de 2005. Se utilizó un insecticida a base de Piretrinas naturales y se aplicó usando una nebulizadora (Fig. 2a).

En el área de estudio se utilizaron dos transectos de 200 m separados entre sí por 500 m, teniendo un área total de 100 000 m². Se diferenciaron tres sitios en cada transecto: a) Sitio de Borde, que era el más cercano al camino de acceso, b) Sitio Medio, que era el intermedio, ubicado a 100 m del Borde, y c) Sitio Interno, que constituyó el área mejor preservada, ubicada aproximadamente a 200 m en línea recta del Borde y a 100 m del sitio Medio. En cada sitio se realizaron las fumigaciones abarcando un área aproximada de 10 m². En cada ocasión se utilizaron un total de 20 embudos que fueron colocados en cada área para capturar la fauna del dosel (Fig. 2b), mismos que fueron lavados con alcohol al 96 % después de cinco horas de la aplicación del insecticida. Detalles de área y el diseño experimental pueden ser consultados en Marquez *et al.* (2019). Cabe mencionar que para el caso de microartrópodos del dosel se ha encontrado en bosques templados, que la variación

microclimática es uno de los factores que más afecta la comunidad de ácaros oribátidos y otros grupos, por lo que aún entre árboles relativamente cercanos, se pueden observar diferencias significativas debido a las condiciones microambientales (Lindo y Winchester 2009).

Las muestras fueron revisadas con un microscopio estereoscópico, separando y contabilizando los colémbolos del resto de la fauna. Se realizaron preparaciones de algunos ejemplares en líquido de Hoyer, para su identificación, misma que se realizó a nivel de género y morfoespecie, usando las claves de Christiansen y Bellinger (1980-81), así como la página de Collembola.org (Bellinger, *et al.*, 2018).

Análisis de datos

Para evaluar el efecto de la temporada de fumigación y sitios de recolección sobre la abundancia de colémbolos, se llevaron a cabo análisis de varianza no paramétrica de una vía mediante una prueba de Kruskal-Wallis. Para ver la similitud en la composición de colémbolos en las diferentes fumigaciones y sitios, se realizó un análisis de conglomerado, utilizando como método de agrupamiento el método de Ward y como distancia el porcentaje de disimilitud. Los cálculos se realizaron con el programa STATISTICA ver 9.0 (Statsoft 2009).

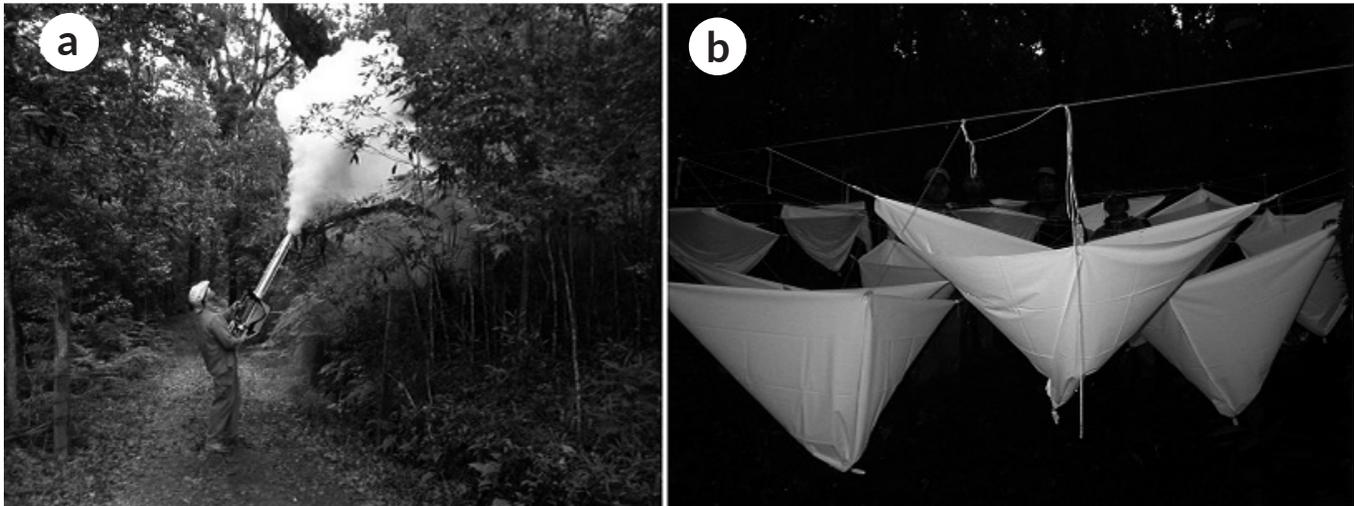


Figura 2. Recolección mediante fumigación en el dosel de Tlanchinol, Hidalgo, México. **a.** Nebulización de piretrinas. **b.** Embudos utilizados para la recolección. Fotos: a: J. Asiain, b: J. Márquez.

Se obtuvo la curva de rarefacción, dado que se tuvieron tamaños de muestras diferentes, a fin de estimar el número de especies esperado, para cada fecha de muestreo, utilizando como estimadores Chao 1 y la riqueza estimada, mediante el programa EstimateS 9 (Colwell 2013). Se evaluó la diversidad mediante el índice de Shannon (H'). Moreno y Halfter (2001) mencionan que comúnmente este es el recomendado para muestras pequeñas, debido a que ayuda a cuantificar la estructura de la comunidad. Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre al predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Baev y Penev 1995). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. La equitatividad fue evaluada mediante el índice de Pielou, que mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Moreno y Halfter 2001). Estos índices se calcularon con el programa de Biodiversity Pro ver. 2 (McAleece 1997). Se compararon los índices de Shannon entre sí, con el índice delta (δ), de acuerdo con Solow (1993).

RESULTADOS

Se obtuvieron un total de 5267 colémbolos representados en once familias y 22 géneros. Durante la época de lluvias fueron 4377 (83 %) colémbolos y de la seca se obtuvieron 890 (17 %). Las familias de colémbolos más abundantes encontradas en total de ambas épocas en el dosel del fueron: Entomobryidae (*Entomobrya* sp., *Orchesella* sp.,

Willowsia mexicana Zhang, Palacios-Vargas & Chen, 2007), con *W. mexicana* como la especie más abundante (2615 ejemplares), seguida de ejemplares de la familia Dicyrtomidae (*Dicyrtoma* sp., 1085), y Paronellidae (*Salina* sp. 1054), Hypogasturidae [*Schoettella distincta* (Denis, 1931) y *Xenylla* sp.] y las familias con menos individuos resultaron Brachystomellidae (*Brachystomella* sp.) y Sminthurididae (*Sphaeridia* sp.) con un ejemplar cada uno (Tabla 1).

La mayor abundancia se presentó en la época de lluvias (85 %), principalmente en el mes de septiembre (42 %), de 2004, mientras que durante los meses secos se recolectó el 17 % del total de colémbolos y no se obtuvieron ejemplares en el sitio de Borde. En el sitio interno se registraron 1586 (30 %) ejemplares, la abundancia más alta se presentó en el sitio Medio con 2157 (41%), y el valor más bajo fue en el sitio de Borde con 1527 (29 %) ejemplares del total. La mayor riqueza, quince especies, se presentó en el mes de julio en el área del Borde (Tabla 1), valor que se redujo a un mínimo de ocho en agosto en la parte Interna, durante la época de lluvias. Sin embargo, en la época seca no se encontraron colémbolos en la parte del Borde, la mayor riqueza se presentó en mayo en la parte Media con once especies; y el valor más bajo se registró en la parte Interna, sólo cuatro morfoespecies. Las curvas de rarefacción para estimar la riqueza de especies mostraron que el mayor número esperado se presentó en el mes de mayo, donde se obtuvieron en total once y se estimó que pudiera haber 20 (Fig. 3a), y de acuerdo con el estimador Chao 1, el mejor muestreo se tuvo en julio, aún sin alcanzar totalmente la asíntota; el resto de los muestreos resultaron menos efectivos (Fig. 3b).

Tabla 1. Abundancia estacional de colémbolos durante cinco fumigaciones, en el dosel de un bosque en Tlanchinol, Hidalgo, México. B = Borde, M = Medio, I = Interno.

Taxones	Época de lluvias									Época de sequía				Total
	Julio			Agosto			Septiembre			Marzo		Mayo		
	B	M	I	B	M	I	B	M	I	M	I	M	I	
NEANURIDAE														
<i>Friesea reducta</i> Denis, 1931	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
<i>Pseudachorutes</i> sp.	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
BRACHYSTOMELLIDAE														
<i>Brachystomella</i> sp.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ODONTELLIDAE														
<i>Superodontella</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3
HYPOGASTRURIDAE														
<i>Schoettella distincta</i> (Denis, 1931)	4	18	51	23	2	3	6	22	8	1	1	2	-	141
<i>Xenylla</i> sp.	3	7	9	-	4	1	1	3	1	1	2	1	-	33
TOMOCERIDAE														
<i>Plutomorus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3
ISOTOMIDAE														
<i>Folsomides</i> sp.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Folsomina onychiurina</i> Denis, 1931	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Isotoma</i> sp.	2	10	9	-	1	1	1	13	2	1	-	-	-	40
<i>Proisotoma alticola</i> (Loksa & Rubio, 1966)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3
ENTOMOBRYIDAE														
<i>Entomobrya</i> sp.	2	1	24	4	4	2	4	-	3	-	-	-	4	48
<i>Heteromurus</i> sp.	-	1	4	-	1	-	1	3	-	-	-	1	-	11
<i>Lepidocyrtus</i> sp.	6	1	5	8	1	-	1	-	-	-	2	1	-	25
<i>Orchesella</i> sp.	1	38	15	8	10	3	7	38	8	1	-	11	2	142
<i>Willowsia mexicana</i> Zhang, Palacios-Vargas, Chen, 2007	62	323	350	73	85	65	239	247	359	67	172	502	71	2615
PARONELLIDAE														
<i>Salina</i> sp.	3	53	22	198	48	-	560	134	35	-	-	1	-	1054
SMINTHURIDIDAE														
<i>Sphaeridia</i> sp.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
KATIANNIDAE														
<i>Sminthurinus</i> sp.	8	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	4	1	15
DICYRTOMIDAE														
<i>Dicyrtoma</i> sp.	0	214	75	100	44	125	185	206	105	-	31	-	-	1085
<i>Ptenothrix</i> sp.	3	4	3	6	12	7	1	3	3	-	-	-	-	42
Totales	100	670	567	420	212	207	1007	669	525	71	209	532	78	5267

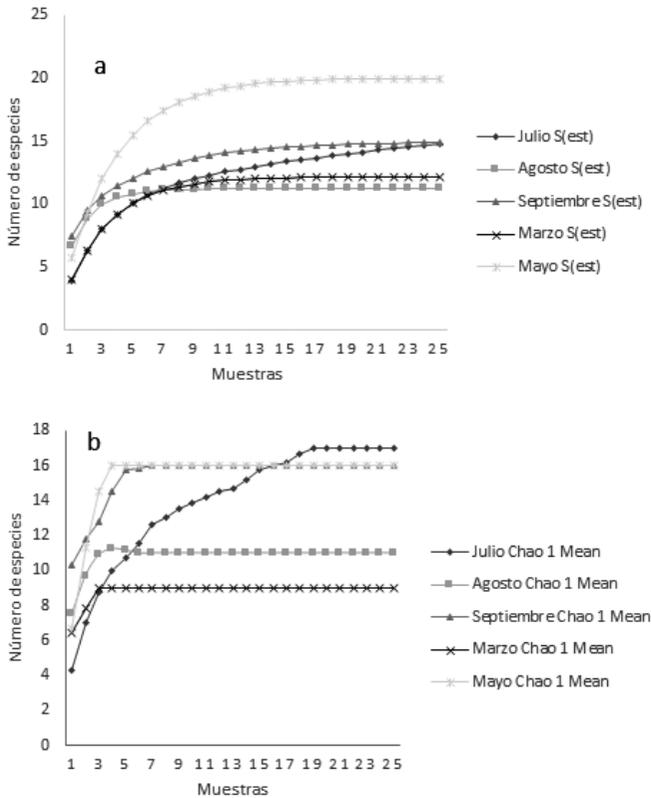


Figura 3. Curvas de rarefacción de especies de colémbolos del dosel muestreados mediante fumigación en Tlanchinol, Hidalgo, México. **a.** Número estimado de especies. **b.** Estimador Chao 1.

No se encontraron diferencias significativas en la abundancia de colémbolos entre temporadas ($H=5.2$; $gl=4$, $P > 0,05$), pero sí la hubo entre los sitios, ($H=7.2$; $gl=2$, $P < 0,05$). La mayor riqueza fue en general en el Borde. El índice de diversidad de Shannon fue mayor en los meses de la época de lluvias que en los de la época seca, la mayor diversidad y equitatividad se presentó en el mes de agosto y septiembre, en el Borde y la parte Media (Tablas 2 y 3).

No se encontraron diferencias significativas de diversidad entre el Borde y el Medio ($d = 0,009$; $P > 0,05$), mientras que los valores registrados para el sitio Interno y los de Borde ($d = 0,16$; $P < 0,05$) y Medio ($d = 0,15$; $P < 0,05$), sí mostraron diferencias significativas.

Tabla 2. Riqueza (S), diversidad (H') y equitatividad (J') estacional de la comunidad de colémbolos por temporada y sitio en el dosel de un bosque de Tlanchinol, Hidalgo, México.

Índice	Lluvias	Sequía	Borde	Medio	Interno
S	17	16	17	16	13
H'	0.649	0.21	1.30	1.32	1.18
J'	0.527	0.174	0.472	0.479	0.46

Como puede observarse, las especies más abundantes en la época de lluvias (Fig. 4) fueron *W. mexicana* que representó un 43 % del total, seguida de *Salina* sp. y *Dicyrtoma* sp., ambas con 25 %, durante la época seca se mantiene *W. mexicana* con el 95 % y le siguen *Dicyrtoma* sp. 3 %, y *Orchesella* sp. con el 2 %. En la temporada de sequía (Fig. 4), nuevamente *W. mexicana* es la especie más abundante, pero su dominancia se incrementa considerablemente, ya que representa casi el 95 % del total de los colémbolos recolectados. No obstante, aún en abundancias bajas, se pueden encontrar a *Schoetella distincta* y *Xenylla* sp. (Tabla 1).

Las especies más abundantes en el sitio Medio e Interno fueron *W. mexicana* y *Dicyrtoma* sp., mientras que en el sitio del Borde la especie más abundante fue *Salina* sp., seguida de *W. mexicana*. Hay colémbolos que solamente se encontraron en un sitio. En el Borde: *Sphaerida* sp., *Folsomides* sp., *Folsomina onychiurina*, *Brachystomella* sp. y *Pseudachorutes* sp. En el sitio Medio fueron exclusivas: *Superodontella* sp., *Proisotoma alticola* y *Plutomorus* sp. Mientras que *Friesea reducta*, fue encontrada solamente en el sitio Interno.

El análisis de conglomerados mostró que la composición de los colémbolos de dosel resultó particular para el Borde en el mes de julio (Fig. 5). En general los meses de la temporada seca, independiente del sitio, fueron similares, no obstante, el sitio medio de mayo resultó más similar a los meses de lluvias en cuanto a su composición.

Se tienen las especies *Friesea reducta*, *Schoetella distincta*, *Plutomorus* sp., *Folsomina onychiurina*, *Isotoma* sp., *Orchesella* sp. y *Ptenothrix* sp. como nuevos registros para el dosel del bosque mesófilo mexicano.

DISCUSIÓN

La estacionalidad y la variación de la humedad son factores que puede afectar la presencia de algunas especies de colémbolos. Guilbert et al. (1995) en Nueva Caledonia,

Tabla 3. Valores mensuales de abundancia (no. de indiv.), riqueza de especies (S), diversidad de Shannon (H'), y equitatividad de Pielou (J'), en tres sitios en el bosque mesófilo de Tlanchinol, Hidalgo, México.

	No. Indiv.	S	H'	J'
Julio 2004 Borde	100	15	1,576	0,582
Julio 2004 Medio	676	11	1,446	0,603
Julio 2004 Interior	567	11	1,3739	0,572
Agosto 2004 Borde	420	8	1,4153	0,68
Agosto 2004 Medio	212	11	1,605	0,669
Agosto 2004 Interior	207	8	1,001	0,481
Septiembre 2004 Borde	1007	12	1,107	0,445
Septiembre 2004 Medio	669	9	1,477	0,672
Septiembre 2004 Interior	525	10	0,993	0,431
Marzo 2005 Medio	71	5	0,294	0,183
Marzo 2005 Interior	209	6	0,583	0,325
Mayo 2005 Medio	535	12	0,34	0,137
Mayo 2005 Interior	78	4	0,387	0,279

y Rodger y Kitching (1998), señalan que la mayor población de colémbolos fue encontrada en la época de lluvias, y que en las épocas secas esta decrece. Previos trabajos han mostrado que en México la abundancia de las especies se presenta un patrón similar (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003). En Tlanchinol se observa este comportamiento, pero además se aprecia que la abundancia está por debajo de las reportadas en otros registros como el bosque tropical lluvioso Chajul en Chiapas y las del bosque tropical caducifolio de Chamela, Jalisco (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003), esto se atribuye a la gran variabilidad que hay entre las muestras.

Los colémbolos más comunes que se encuentran en el dosel de los bosques de México son de los géneros *Salina*, *Sminthurinus*, *Lepidocyrtus*, *Pseudisotoma*, *Schoettella*, *Xenylla* y *Sphaeridia* (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003), los que también están representados en el bosque mesófilo de Tlanchinol Hidalgo.

Comparado la riqueza del bosque de mesófilo de Tlanchinol con el bosque tropical caducifolio en Chamela, Jalisco, en Tlanchinol se registraron 22 especies, mientras que en el bosque caducifolio Palacios-Vargas *et al.* (1999) reportan 19 especies, compartiendo solamente ocho géneros *Xenylla*,

Brachystomella, *Pseudachorutes*, *Entomobrya*, *Lepidocyrtus*, *Salina*, *Sminthurinus* y *Sphaeridia* (Tabla 4). La riqueza que se reporta en el bosque tropical de Chajul, Chiapas (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003), es de 26 especies, de los cuales comparte once géneros: *Pseudachorutes*, *Brachystomella*, *Folsomides*, *Entomobrya*, *Lepidocyrtus*, *Salina* sp., *Sphaeridia*, *Sminthurinus*, *Dicyrtoma*, *Ptenothrix* y la especie *Willowsia mexicana*.

En el bosque mesófilo de montaña los colémbolos mejor representados en el dosel son miembros de la familia Entomobryidae (*Entomobrya* sp., *Orchesella* sp., *Willowsia*

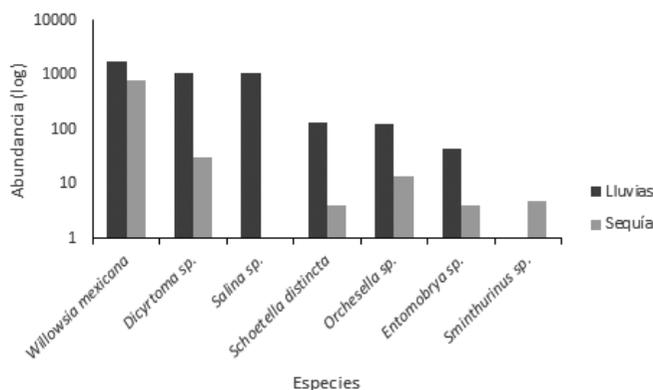


Figura 4. Abundancia relativa (log) de las principales especies de Collembola en el dosel de Tlanchinol, en la temporada de lluvias y de sequía.

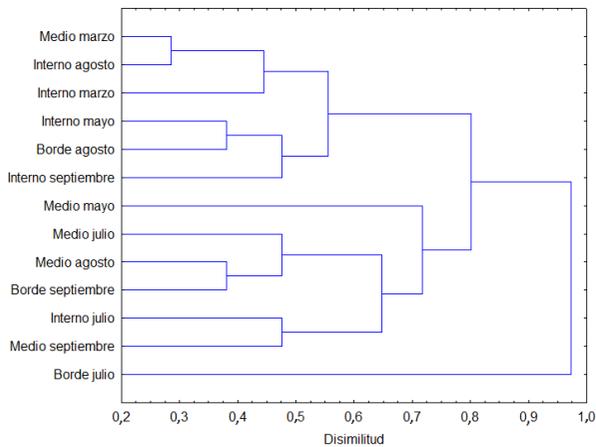


Figura 5. Dendrograma para el análisis de conglomerado de las diferentes fechas de muestreo y sitios de acuerdo con la composición de colémbolos en el dosel.

Tabla 4. Comparación de especies de colémbolos presentes en el dosel de tres tipos de bosques en México, Mesófilo (Tlanchinol, Hidalgo; este estudio), tropical caducifolio (Chamela, Jalisco; Palacios-Vargas et al. 1998, Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003) y tropical (Chajul, Chiapas; Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003). LL = Lluvias; S = Sequía.

TAXA	Tlanchinol		Chamela		Chajul
	LL	S	LL	S	
NEANURIDAE					
<i>Friesea reducta</i>	X				
<i>Pseudachorutes</i>	X		X	X	X
BRACHYSTOMELLIDAE					
<i>Brachystomella</i>	X		X	X	X
HYPOGASTRURIDAE					
<i>Schoettella distincta</i>	X				
<i>Xenylla</i>	X		X	X	
ISOTOMIDAE					
<i>Folsomides</i>	X				X
<i>Isotoma</i>	X				
<i>Proisitoma alticola</i>	X				
ENTOMOBRYIDAE					
Entomobrya	X		X	X	X
<i>Lepidocyrtus</i>	X		X	X	X
<i>Willowsia mexicana</i>					X
PARONELLIDAE					
<i>Salina</i>	X	X	X	X	X
SMINTHURIDIDAE					
<i>Sphaeridia</i>	X		X	X	X
KATIANNIDAE					
<i>Sminthurinus</i>	X		X	X	X
DICYRTOMIDAE					
<i>Dicyrtoma</i>	X				X
<i>Ptenothrix</i>	X				X

mexicana), siendo *W. mexicana* el más abundante (2615 ejemplares), seguida por Dicyrtomidae (*Dicyrtoma* sp., 1085) y Paronellidae (*Salina* sp. 1054); mientras que, en la selva tropical seca del Pacífico mexicano (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003), los más abundantes son Paronellidae (*Salina banksi*, 935,321), Entombryidae (*Seira* spp. 80,007) y Bourletiellidae (*Adisianus maassius*, 9549). La abundancia es notoriamente mucho mayor en el bosque tropical seco.

Los sitios Medio y Borde registraron la mayor diversidad y riqueza de especies, y comparten más especies entre ellas que con el sitio interno. También en el sitio Medio y en el Borde se tienen más especies con hábitos cosmopolitas, y se encontró que el Borde tiene una influencia significativa

en la composición de la comunidad de colémbolos del dosel. La importancia de los bordes de bosques para el mantenimiento de la biodiversidad ha sido considerada de relevancia en ambientes alterados como los agroecosistemas que están cercanos a áreas de bosque (Holland y Fahrig 2000). Los resultados muestran una comunidad particular de colémbolos en el dosel de bosque mesófilo y el potencial de estos sitios como refugio de especies en ambientes altamente fragmentados.

LITERATURA CITADA

- Baev PV, Penev LD. 1995. BIODIV: program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap, and cluster analysis: Version 5.1. Moscú, Rusia: Pensoft.
- Basset Y, Horlyck V, Wright J. 2003. Forest canopies and their importance. En: Basset Y, Horlyck V, Wright J, editores. *Studying Forest Canopies from Above: The International Canopy Crane Network*. Panamá, Panamá: Smithsonian Tropical Research Institute and UNEP. p. 27–34.
- Bellinger PF, Christiansen KA, Janssens F. 2018. *Checklist of the Collembola of the World*. [Revisada en: 15 Dic 2018]. <http://www.collembola.org>
- Bretfeld G. 1994. *Sturmius epiphytus* n. gen. n. spec. from Colombia, a taxon of the Symphypleona (Insecta, Collembola) with than unexpected character combination. Description and position in non-Linnean and Linnean classifications of the Symphypleona. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 32(4): 264–281. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.1994.tb00487.x>
- Castaño-Meneses G, Basset Y, Winchester N, Barrios H. 2006. Colémbolos (Hexapoda: Collembola) del dosel en la selva tropical de San Lorenzo, Provincia de Colón, Panamá. *Ent. Mex.* 5 (1): 480-496.
- Castaño-Meneses G, Palacios-Vargas JG. 2011. A new species of the family Stumiidae (Collembola: Symphypleona) from Panama. *Zootaxa.* 2923 (1): 59-66. doi: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2923.1.4>
- Christiansen KA, Bellinger PF. 1980-81. The Collembola of North America North of the Rio Grande, Grinnell College, Iowa, p.1-1520.
- Colwell RK. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's guide and application. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>
- Erwin TL. 1983. Tropical forest canopies: the last biotic frontier. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 29(1): 14-20. doi: <https://doi.org/10.1093/besa/29.1.14>
- Erwin TL. 1995. Measuring arthropod biodiversity in the tropical forest canopy. En Lowman M D, Nadkarni N M, editors. *Forest Canopies*. San Diego: Academic Press. p. 109-127. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00044643>
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, 5ª edición, Serie Libros Núm. 6. Distrito Federal, México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Guilbert E, Baylac M, Najt J. 1995. Canopy Arthropod Diversity in a New Caledonian Primary forest sampled by fogging. *Pan-Pac. Entomol.* 71 (1): 3-12.
- Heino M, Kumm M, Makkonen M, Mulligan M, Verburg PH, Jalava M, Räsänen TA. 2015. Forest loss in protected areas and intact forest landscapes: a global analysis. *PLoS ONE*, 10: e0138918. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138918>
- Holland J, Fahrig L. 2000. Effect of woody borders on insect density and diversity in crop fields: a landscape-scale analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 78(2): 115-122. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00123-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00123-1)
- Kitching RL, Bergelson JM, Lowman MD, McIntyre S, Carruthers G. 1993. The biodiversity of arthropod rain forest canopies general introduction, method sites and ordinal result. *Aust. J. Ecol.* 18(2): 181-191. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00442.x>
- Koike T, Kitao M, Muruyama Y, Mori S, Lei TT. 2001. Leaf morphology and photosynthetic adjustments among deciduous broad-leaved trees within the vertical canopy profile. *Tree Physiol.* 21(12-13): 951-958. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/21.12-13.951>

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

José G. Palacios-Vargas y Gabriela Castaño-Meneses, diseño del proyecto. Coordinación del trabajo de laboratorio, interpretación de los resultados, escritura del artículo. Leticia Valladares, separación de las muestras, cuantificación de los ejemplares, elaboración de preparaciones e identificación. José G. Palacios-Vargas, ratificación de las identificaciones, actualización de la taxonomía. Gabriela Castaño-Meneses, análisis estadístico e interpretación de los resultados.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Juan Márquez Luna, la M.C. Julieta Asiain y al Biól. Gerardo Canizal, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por la recolección del material y su donación para estudio. El biólogo Jair Páez elaboró el mapa con la localización del sitio de estudio. Dos revisores anónimos y el Dr. Carlos E. Sarmiento aportaron valiosas sugerencias para mejorar el escrito.

- Lindo Z, Winchester NN. 2009. Spatial and environmental factors contributing to patterns in arboreal and terrestrial oribatid mite diversity across spatial scales. *Oecologia* 169: 817-825. doi: <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1348-3>
- Luna I, Alcántara O. 2004. Florística del bosque mesófilo de montaña de Hidalgo. En: Luna I, Morrone JJ, Espinosa D, editores. Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. D.F. México: CONABIO-UNAM. p. 169-192.
- Luna I, Ocegueda S, Alcántara O. 1994. Florística y notas biogeográficas del Bosque Mesófilo de Montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. *An. Inst. Biol. UNAM, Serie Botánica*. 65(1): 31-62.
- Luna Vega I, Alcántara Ayala O, Espinosa Organista D, Morrone JJ. 1999. Historical relationships of the Mexican cloud forest: A preliminary vicariance model applying parsimony analysis of endemism to vascular plant taxa. *J. Biogeog.* 26(6): 1299-1306. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1999.00361.x>
- Luna I, Alcántara O, Morrone JJ, Espinosa D. 2000. Track analysis and conservation priorities in the cloud forests of Hidalgo, Mexico. *Divers. Distrib.* 6:137-143
- Márquez J, Asiain J, Martínez-Falcón AP, Escoto-Moreno J. 2019. Coleoptera in the canopy of the cloud forest from Tlanchinol in the State of Hidalgo, Mexico. *Environ. Entomol.* 48(4): 1012-1023. doi: <https://doi.org/10.1093/ee/nvz059>
- McAleece N. 1997. Biodiversity Professional beta. Version 2.0. Oban, Reino Unido: The Natural History Museum and Scottish Association for Marine Science.
- Mesquita RCG, Delamonica P, Laurance WF. 1999. Effect of surrounding vegetation on edge-related tree mortality in Amazonian forest fragments. *Biol. Conserv.* 91(2-3): 129-134. doi: [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00086-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00086-5)
- Moreno CE, Halffter G. 2001. Spatial and temporal analysis of the β , and γ diversities of bats in a fragmented landscape. *Biodiv. Conserv.* 10: 367-382. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1016614510040>
- Nadkarni N. 1995. Good-bye, Tarzan. The science of life in the treetops get down to business. *Sciences*. 35(1): 28-33. doi: <https://doi.org/10.1002/j.2326-1951.1995.tb03787.x>
- Nadkarni NM, Solano R. 2002. Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. *Oecologia*. 131: 580-586. doi: <https://doi.org/10.1007/s00442-002-0899-3>
- Nakamura A, Kitching RL, Cao M, Creedy TJ, Fayle TM, Freiberg M, Hewitt CN, Itioka T, Koh LP, Ma K, Malhi Y, Mitchell A, Novotny V, Ozanne CMP, Song L, Wang H, Ashton LA. 2017. Forest and their canopies: achievements and horizons in canopy science. *TREE* 32 (6): 438-451. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.02.020>
- Ortega F, Castillo G. 1996. El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias*. 43: 32-39.
- Ozanne CMP, Anhué D, Boulter SL, Keller M, Kitching RL, Körner C, Meinzer FC, Mitchell AW, Nakashizuka T, Silva PL, Stork NE, Wright SJ, Yoshimura M. 2003. Biodiversity meets the atmosphere: a global view of forest canopies. *Science* 301 (5630): 183-186. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1084507>
- Palacios-Vargas JG, Castaño-Meneses G. 2003. Seasonality and community composition of springtails in Mexican forest. En: Basset Y, Novotny V, Miller S E, Kitching R L, editors. *Arthropods of Tropical Forests*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 159-169.
- Palacios-Vargas JG, Castaño-Meneses G, Gómez-Anaya JA. 1998. Collembola from the canopy of tropical deciduous forest. *Pan-Pac. Entomol.* 74(1): 47-54.
- Palacios-Vargas JG, Castaño-Meneses G, Pescador A. 1999. Phenology of canopy arthropods of a tropical deciduous forest in western Mexico. *Pan-Pac. Entomol.* 75(4): 200-211.
- Palacios-Vargas JG, González V. 1995. Two new species of *Deuterosminthurus* (Bourletiellidae), epiphytic Collembola from the Neotropical region with a key for the American species. *Flo. Entomol.* 78 (2): 286-294. doi: <https://doi.org/10.2307/3495901>
- Palacios-Vargas JG, Hornung-Leoni CT, Garrido I. 2012. Collembola in epiphytic bromeliads (*Tillandsia imperialis*: Bromeliaceae) from Hidalgo, Mexico and description of a new *Sminthurinus* (Collembola: Katiannidae). *Brenesia*. 78: 58-64.
- Puig H. 1976. *Végétation de la Huasteca, Mexique. Mission Archéologique et Ethnologique Française au Mexique*. Vol. V. Paris, Francia: C.N.R.S.
- Rodgers DJ, Kitching RL. 1998. Vertical stratification of rain-forest collembolan (Collembola: Insecta) assemblages: description of ecological patterns and hypotheses concerning their generation. *Ecography* 21 (4): 392-400. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1998.tb00404.x>
- Rodgers DJ, Kitching RL. 2011. Rainforest Collembola (Hexapoda: Collembola) and the insularity of epiphyte microhabitats. *Insect Conserv. Divers.* 4(2): 99-106. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00104.x>
- Rzedowski J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de México. *Acta Bot. Mex.* 35: 25-44.
- [SEDESOL] Secretaría de Desarrollo Social. 2002. *Municipios de Hidalgo*. Tlanchinol. Hidalgo, México: Secretaría de Desarrollo Social.
- Shaw P, Ozanne C, Speight M, Palmer I. 2007. Edge effects and arboreal Collembola in coniferous plantations. *Pedobiologia*. 51(4): 287-293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.04.010>
- Statsoft. 2009. *Statistical user guide: complete statistical system StatSoft*. Oklahoma, USA: StatSoft.
- Stork NE, McBroom J, Gely C, Hamilton AJ. 2015. New approaches narrow global species estimates for beetles, insects, and terrestrial arthropods. *PNAS*. 112(24): 7519-7523. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1502408112>
- Solow AR. 1993. A simple test for change in community structure. *J. Anim. Ecol.* 62(1): 191-193. doi: <https://doi.org/10.2307/5493>
- Southwood TRE. 1978. The components diversity. En: Mound LA, Walsff N, editors. *Symposia of the Royal Entomological Society: Diversity of insect faunas*. Oxford, U.K.: Blackwell Scientific Publications. p. 19-40.

- Tabarelli M, Da Silva JMC, Gascon C. 2004. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. *Biodivers. Conserv.* 13: 1419-1425. doi: <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000019398.36045.1b>
- Walter DE, Behan-Pelletier V. 1999. Mites in forest canopies: filling the size distribution shortfall? *Ann. Rev. Entomol.* 44: 1-19. doi: <https://doi.org/10.5194/bgd-12-10985-2015>
- Wedeux BMM, Coomes DA. 2015. Landscape-scale changes in forest canopy structure across a partially logged tropical peat swamp. *Biogeosciences* 12: 10985-11018. doi: <https://doi.org/10.5194/bgd-12-10985-2015>
- Williams-Linera G. 1990. Vegetation structure and environmental conditions of forest edges in Panama. *J. Ecol.* 78(2): 356-373. doi: <https://doi.org/10.2307/2261117>
- Williams-Linera G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodivers. Conserv.* 11: 1825-1843. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1020346519085>
- Winchester NN, Behan-Pelletier VM, Ring RA. 1999. Arboreal specificity, diversity and abundance of canopy-dwelling oribatid mites (Acari: Oribatida). *Pedobiologia* 43: 1-10.
- Winchester NN, Lindo Z, Behan-Pelletier VM. 2008. Oribatid Mite Communities in the Canopy Montane *Abies amabilis* and *Tsugaheterophylla* trees on Vancouver Island, British Columbia. *Environ. Entomol.* 37(2): 464 – 470. doi: <https://doi.org/10.1093/ee/37.2.464>
- Wirth R, Weber B, Ryel RJ. 2001. Spatial and temporal variability of canopy structure in a tropical moist forest. *Acta Oecol.* 22(5-6): 235-244. doi: [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(01\)01123-7](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(01)01123-7)
- Yoshida T, Hiji N. 2005. Vertical distribution and seasonal dynamics of arboreal collembolan communities in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation. *Pedobiologia.* 49(5): 425-434. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.05.001>