

© 2023 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 26: 1-13, 2023.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.526>

Artrópodos asociados a *Tillandsia recurvata* (L.) L. (Bromeliaceae) en ambientes semiáridos del municipio de Tecozautla, Hidalgo, México

Yesica Alejandra Luna-Castañeda, Samantha Nataly Cedillo-López,
Cruz Eduardo Martínez-Pérez, Elena Alexandra Contreras-Muñoz
y Juan Carlos Peña-Becerril*

¹Laboratorio de Restauración Ecológica, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II, Universidad Nacional Autónoma de México. Batalla de 5 de mayo esquina Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, Alcaldía Iztapalapa, 09230, Ciudad de México, México. E-mail: *jczbio@ciencias.unam.mx

RESUMEN

Las bromelias epífitas albergan en su interior una variedad de microambientes y de recursos para los artrópodos, convirtiéndose en importantes sitios de biodiversidad. En este trabajo se determinó la diversidad de los artrópodos asociados a la bromelia *Tillandsia recurvata* en tres localidades del municipio de Tecozautla, Hidalgo, México. En la temporada de secas se colectaron 112 ejemplares de *T. recurvata* en las plantas (forofito) de las especies: *Acacia schaffneri*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Bursera fagoroides* y *Prosopis laevigata*. De cada epífita se extrajeron los artrópodos y cada morfoespecie se determinó taxonómicamente a nivel de orden y familia; por forofito se evaluó la riqueza específica, la diversidad y el número esperado de especies. La mayoría de las especies colectadas son de los órdenes Araneae, Coleoptera, Diptera y Hemiptera. La mayor riqueza se presentó en las bromelias del forofito *P. laevigata* y una diversidad mayor en el forofito *M. geometrizans*. En todos los forofitos, el número esperado de especies fue mayor al encontrado. En *T. recurvata* se forma un microambiente propicio para la presencia de los artrópodos, ya sea como refugio o bien para conseguir alimento. Los resultados establecen la posible influencia de los forofitos en la diversidad de las especies de artrópodos en *T. recurvata*.

Palabras clave: *Tillandsia recurvata*, Insecta, Arachnida, forofito, diversidad.

Arthropods associated with *Tillandsia recurvata* (L.) L. (Bromeliaceae) in semiarid environments of Tecozautla municipality, Hidalgo, Mexico

ABSTRACT

Inside epiphytic bromeliads there is a variety of microhabitats and resources for arthropods, being important sites for biodiversity. In this work, the richness and diversity of arthropods associated with *Tillandsia recurvata* were determined in three locations from Tecozautla municipality, Hidalgo, Mexico. In the dry season, 112 specimens of *T. recurvata* were collected over plants (phorophyte) of the species: *Acacia schaffneri*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Bursera fagoroides*, and *Prosopis laevigata*. Arthropods were extracted from each epiphyte and the morphospecies were identified to order and family; the richness, the diversity, and the expected number of species by phorophyte were calculated. The highest number of species corresponded to Araneae, Coleoptera, Hemiptera, and Diptera orders. Richness was higher on bromeliads whose phorophyte was *P. laevigata* while the diversity was greater when the phorophyte was *M. geometrizans*. The expected number of species was higher than that found in all phorophytes. The microenvironment of *T. recurvata* is favorable to arthropods to find refuge or to obtain food. The results set down the possible influence of phorophytes over the arthropods species in *T. recurvata*.

Key words: *Tillandsia recurvata*, Insecta, Arachnida, phorophyte, diversity.

INTRODUCCIÓN

Las plantas epífitas pueden tener un papel importante para las comunidades de artrópodos por contener en su interior una variedad de hábitats favorables que fomentan su riqueza y diversidad (Flores-Palacios & García-Franco, 2006; Shaw, 2004; Stuntz, Ziegler, Simon & Zotz, 2002). Entre las epífitas está la familia Bromeliaceae de las cuales el 56% de las especies presentan esta condición y se encuentran en ambientes que van de secos a húmedos (Zotz, 2013). Las especies de ambientes tropicales y templados por lo regular tienen una forma de roseta, lo que favorece la captación y la acumulación de agua (fitotelmata) y de detritus. En estos ambientes se desarrolla una compleja red de interacciones entre organismos, desde artrópodos hasta anfibios, en donde obtienen refugio, alimento y condiciones microambientales favorables (como humedad y temperatura) para establecerse y desarrollarse (Bermudez-Monge & Barrios, 2011; Frank *et al.*, 2004). En estas condiciones se presentan diversos grupos de artrópodos de los órdenes Araneae, Coleoptera, Diptera e Hymenoptera, entre otros grupos taxonómicos (Araújo, Melo, Araújo, Gomes & Carneiro, 2007; Frank & Lounibos, 2008).

La familia Bromeliaceae está integrada por un total de 4,055 especies, con presencia en México de 422 divididas en 8 subfamilias y 19 géneros (Espejo-Serna & López-Ferrari, 2018). En los ambientes secos (como los bosques tropicales estacionales o en las zonas semiáridas), las bromelias tienden a presentar un metabolismo de tipo CAM, con una estructura morfológica carente no solo de la capacidad para almacenar el agua sino también de hojas con capas superpuestas de tricomas que les permite absorber agua y nutrientes particularmente durante los pulsos de precipitación (Reyes-García, Griffiths, Rincón & Huante, 2008; Reyes-García, Mejía-Chang & Griffiths, 2011). Las especies más abundantes en estos ambientes son las de los géneros *Tillandsia* y *Hectia* (Hornung-Leoni, Chavarria-Olmedo & Ramírez-Morillo, 2019; Hornung-Leoni & Pintado-Peña, 2011; Reyes-García, *et al.*, 2008), plantas con un microhábitat que protege de los enemigos y un refugio ante las condiciones climáticas adversas para los pequeños invertebrados (Luna-Cozar, Martínez-Madera & Jones, 2020; Scheffers, Edwards, Diesmos, Williams & Evans, 2014).

Las variaciones en la riqueza y en la abundancia de los artrópodos en el interior de las bromelias están relacionadas a diversos factores como: la estacionalidad, el tamaño de la bromelia, el número de hojas, el volumen de agua, el contenido de detritus e incluso a la formación de diversos microhábitats y la disponibilidad de recursos (Araújo *et al.*, 2007; Armbruster, Hutchinson & Cotgreave, 2002; Frank & Lounibos, 2008; Richardson, Rogers & Richardson, 2000).

La mayoría de los estudios realizados en los ambientes húmedos, analizan la diversidad de los artrópodos en las bromelias cuya forma es del tipo fitotelmata e igual se ha hecho para algunas especies del género *Tillandsia* (Bermúdez-Monge & Barrios, 2011; Frank *et al.*, 2004; Hornung-Leoni, Márquez & Bueno-Villegas, 2011; Mondragón-Chaparro & Cruz-Ruiz, 2008; Murillo *et al.*, 1983; Ospina-Bautista, Estévez-Varón, Betancur & Realpe-Rebolledo, 2004), sin embargo, son escasos los estudios de esta índole en ambientes secos (Becerril-González, 2012; Campos-Serrano, Herrera-Fuentes, Flores-Cruz & Zavala-Hurtado, 2009), en particular con *Tillandsia recurvata* (Luna-Cozar *et al.*, 2020; Sánchez-Reyes, Luna-Cozar, Hurtado-Santiago & Jones, 2020; Troya, Bersosa & Vega, 2012) de menor tamaño a las fitotelmata y cuyas hojas crecen densamente. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar la riqueza y la diversidad de las especies de artrópodos que se asocian a *T. recurvata* en una zona semiárida de México y evaluar una posible influencia de los forofitos en la variación de esta fauna.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El trabajo se desarrolló en el municipio de Tecozautla, Hidalgo, México, que colinda al norte con el estado de Querétaro y el municipio de Zimapán, al este con los municipios de Zimapán, Tasquillo y Alfajayucan y al sur con el municipio de Huichapan (INEGI, 2005). La altitud promedio es de 1,700 msnm, con una topografía plana que cubre un aproximado del 50% de su superficie y el resto es accidentada. El clima predominante es seco estepario (BS1 hw (w)(e) g), con lluvias en verano e invierno fresco, temperatura media anual de 19.3 °C, con una precipitación anual que va de los 400 a los 600 mm (INEGI, 2009). La vegetación primaria corresponde a un matorral xerófilo con dominancia de herbáceas y arbustos, distinguiéndose cinco asociaciones vegetales (*Fouquieria splendens*-*Agave striata*, *Mimosa*-*Myrtillocactus*, *Opuntia*, *Opuntia imbricata*-*Myrtillocactus* y *Yucca*) (Rojas, Castillejos-Cruz & Solano, 2013).

El muestreo se realizó en tres localidades de nombres: “La Mesa” (20°28'16" N, 99°43'22" a 1,920 msnm), “Las Antenas” (20°30'40" N, 99°35'06" O a 2,343 msnm) y “La Cañada” (20°30'47" N 99°37'12" O a 1,878 msnm) (Figura 1). En el primer sitio, la vegetación del estrato arbóreo está integrada por *Yucca filifera*, *Forestiera phillyreoides*, *Acacia schaffneri* y *Prosopis laevigata*, y en el arbustivo por *Mimosa depauperata*, *Opuntia durangensis*. En el segundo sitio, en el estrato arbustivo están *Mimosa biuncifera*, *Condalia mexicana*, *Forestiera phillyreoides*, además de *Agave lechuguilla*, *A. striata*, *Echinocereus cinerascens* y *Karwinskia humboldtiana*. En el tercer sitio, al estrato arbóreo lo forman *Bursera fagaroides*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Stenocerus*

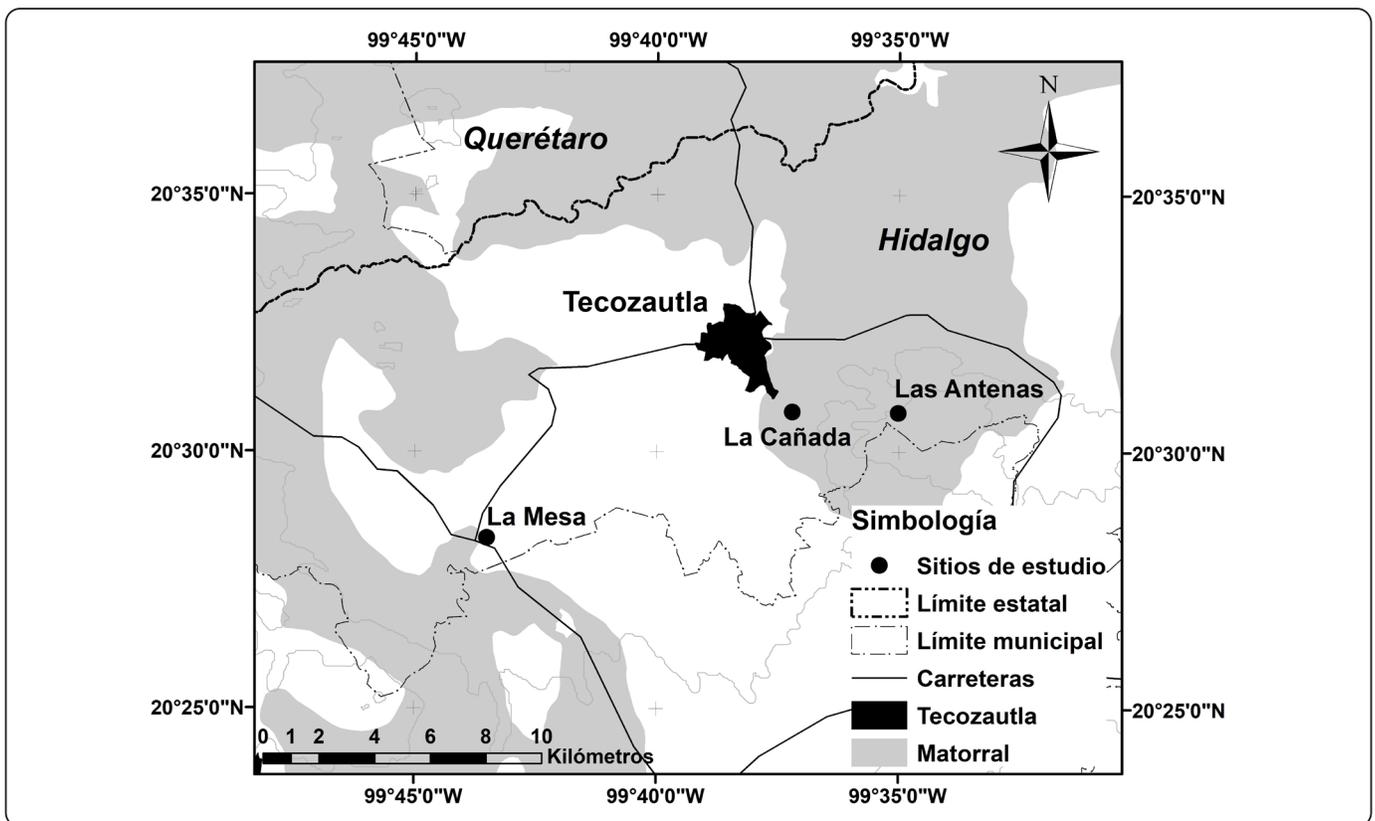


Figura 1. Localización de los sitios de estudio en el municipio de Tecozautla, Hidalgo, México.

dumortieri y *Yucca filifera* y en el arbustivo principalmente *Mimosa depauperata* (Rojas et al., 2013). En todos los sitios *Tillandsia recurvata* se presenta como planta epífita.

Especie de estudio

Tillandsia recurvata (L.) L. (Bromeliaceae) es una planta epífita que alcanza los 8 cm de radio, se agrupa por lo general en varias masas esféricas, con un sistema rudimentario de raíces fibrosas sujetas a las ramas de los árboles y a las de los arbustos e incluso sobre el alambrado telefónico y eléctrico. Las hojas son filiformes de 5 a 10 cm de largo con una disposición distica, con presencia de tricomas higroscópicos lo que permite condensar la humedad del aire y así absorber los nutrientes. La inflorescencia es simple, generalmente con 1 o 2 flores de pétalos violáceos, que generan una cápsula de 1.5 cm de largo; las semillas son pequeñas, fusiformes, con vellos blancos y sedosos que le facilitan su dispersión y adherencia a cualquier superficie (Alanís-Méndez, Muñoz-Arteaga, López-Ortega, Cuervo-López & Raya-Cruz, 2007; Espejo-Serna & López Ferrari, 2004). Es una especie con una amplia distribución en el continente americano, desde el sur de los Estados Unidos hasta la parte media de Argentina (Correll & Johnston, 1970; McVaugh, 1989); en México su distribución es también amplia en los hábitats áridos, semiáridos y subtropicales (Espejo-Serna & López Ferrari, 2018).

Muestreo

El muestreo se realizó en la temporada de secas, en los meses de marzo y de abril del año 2019. Se seleccionaron cuatro especies vegetales (forofitos) del estrato arbóreo las cuales presentaban densamente a la epífita *T. recurvata*. Las especies son: *Prosopis laevigata* en la localidad de “La Mesa”, *Acacia schaffneri* en la localidad de “Las Antenas”, *Myrtillocactus geometrizans* y *Bursera fagaroides* en la localidad de “La Cañada”; de cada especie de forofito se eligieron a siete individuos con una altura de entre 3 a 4.5 m. De las ramas de cada individuo arbóreo se tomaron al azar cuatro ejemplares de *T. recurvata*, uno por cada punto cardinal (norte, sur, este y oeste); en total se colectaron 112 epífitas (28 por forofito) con un diámetro promedio de 5.6 cm. Cada planta de *T. recurvata* se guardó individualmente en una bolsa de polipapel y a temperatura ambiente hasta su manipulación.

El mismo día de la colecta, a cada uno de los ejemplares de *T. recurvata* se les dispuso en una manta blanca para desprender las hojas, extraer los artrópodos y conservarlos en alcohol al 70% para su posterior identificación.

Trabajo de laboratorio

Los artrópodos se observaron a través de un microscopio estereoscópico marca Carl Zeiss, modelo Stemi Dv4;

con la finalidad de separarlos en morfoespecies para su determinación taxonómica en orden y familia con ayuda de claves taxonómicas especializadas. En el caso de los órdenes Blattodea, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera y Orthoptera, las claves taxonómicas utilizadas fueron las de Triplehorn & Johnson (2005); para el orden Coleoptera las de Choate (2003) y Triplehorn & Johnson (2005), los documentos de apoyo de Alonso-Zarazaga (2015) y Zaragoza-Caballero, Navarrete-Heredia & Ramírez García (2016); para la identificación de las familias del orden de Araneae las claves de Ubick, Paquin, Cushing & Roth (2005) y Jocqué & Dippenaar-Schoeman (2007); para el orden Solifugae se usó la clave contenida en Vázquez (1995); finalmente para el orden Pseudoscorpionida la información contenida en Harvey (1992) y Bedoya-Roque & Tizo-Pedroso (2021).

Análisis de los resultados

Para obtener la diversidad alfa por cada especie de forofito se calculó el “número efectivo de especies” con los números de Hill (qD) con el estimador 0D , 1D y 2D , así, cuando $q=0$ se obtiene directamente la riqueza de especies (S), cuando $q=1$ se calcula con la forma exponencial del índice de Shannon-Wiener (H'), y finalmente cuando $q=2$ se obtiene por el inverso del índice de Simpson (λ) (Chao, Chiu & Jost, 2014; Hill, 1973). El contraste estadístico entre cada estimador de diversidad (0D , 1D y 2D) para cada forofito se realizó según el protocolo de Chao & Jost (2012) donde se emplea la interpolación y la extrapolación de las estimaciones de las curvas de rarefacción (de cada diversidad qD) con intervalos de confianza (I.C.) del 95% (${}^qD \pm I.C. 95\%$); para este análisis se utilizó el programa iNext (<https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/>) (Hsieh, Ma & Chao, 2016). Para la elaboración de las curvas de rarefacción (en 0D , 1D y 2D), el “*endpoint*” se estableció a los 101 individuos (que fue el número máximo observado de organismos encontrados en *P. laevigata*) y no el doble del valor más bajo de las abundancias (de 41 individuos en *B. fagoroides*) como lo establece el protocolo de Chao & Jost (2012), esto para observar todo el comportamiento de las curvas.

Adicional al número efectivo de especies, también se evaluó la diversidad para cada especie de forofito con el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') con la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln p_i,$$

donde:

p_i = proporción de la especie i .

Para determinar las diferencias en el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') entre los forofitos, se realizó la prueba de t de student propuesta por Hutcheson (1970).

La diversidad beta se evaluó a partir del cálculo del índice de similitud de Jaccard (IJ) entre las especies de forofito.

Se realizó una curva de rarefacción de especies (morfoespecies) en *T. recurvata* basada en el número de individuos colectados y una curva de acumulación de especies basada en los siete forofitos muestreados de cada especie; los análisis se realizaron en el programa R (versión 3.3.3, 2017-03-06) con el paquete *vegan* y las funciones *rarefy* y *specaccum*. Adicionalmente, se calculó el número esperado de especies con los métodos no paramétricos de Chao1, Jackknife de primer y segundo orden (Jack1 y Jack2) y Bootstrap igualmente con el programa R con la función *specpool* (Chao, 2005; Oksanen *et al.*, 2015).

RESULTADOS

Se colectaron un total de 293 artrópodos en los 112 ejemplares de *T. recurvata*. En *P. laevigata* se colectaron 3.6 artrópodos por bromelia, mientras que en *A. schaffneri* fueron 3.5 artrópodos por planta; en *M. geometrizarans* y *B. fagoroides* se presentó el menor número de individuos por planta, con 1.9 y 1.5 artrópodos respectivamente. Cabe señalar que sólo en dos plantas de *T. recurvata* no se registró la presencia de individuos, cada una en los forofitos *B. fagoroides* y *M. geometrizarans*.

En total se diferenciaron 80 morfoespecies de artrópodos correspondientes a 10 órdenes y 35 familias; el mayor número de individuos colectados fue de 189 de la Clase Hexapoda (Insectos), es decir el 64.85%, los restantes 103 de la Clase Arachnida (Quelicerados) con el 35.15%.

En el caso de la Clase Hexapoda, se identificaron 7 órdenes; Coleoptera el más abundante con 89 individuos repartidos en 7 familias (Anexo I). Para la Clase Arachnida 3 órdenes, Araneae, Pseudoscorpiones y Solifugae, siendo el primero el más diverso con 10 familias y 34 morfoespecies, 13 de éstas de la familia Linyphiidae y 6 más de la Salticidae (Anexo I).

Los siguientes son los órdenes con mayor abundancia de individuos: Araneae con 99 (equivalente a un 33%), Coleoptera con 89 (30%), Hemiptera y Diptera con 50 (17%) y 34 (12%) respectivamente (Figura 2). Los órdenes con menor abundancia fueron Orthoptera y Solifugae, ambos con un solo ejemplar.

La abundancia de artrópodos en *T. recurvata* relativa al orden como categoría taxonómica fue distinta entre las especies de forofito. Por ejemplo, en *P. laevigata*, *B. fagoroides* y *M. geometrizarans* la mayor abundancia de artrópodos fue en el orden Araneae, mientras que en *A. schaffneri* en Coleoptera (Figura 3). En el forofito de *M. geometrizarans* se presentaron nueve órdenes, mientras que en *P. laevigata* *A. schaffneri* y *B. fagoroides* solo seis (Figura 3).

El mayor número de artrópodos en *T. recurvata*, se colectaron en los forofitos de: *P. laevigata* y *A. schaffneri* con 101 y 98 individuos respectivamente (Tabla I). Por otro lado, la mayor riqueza (0D) se encontró en *P. laevigata* en comparación con los

demás forofitos, con 34 morfoespecies (Tabla I). Con base en los números de Hill en 1D y 2D , se observa que *M. geometrizans* tiene la mayor diversidad en comparación con los demás forofitos y *A. schaffneri* la de menor diversidad tanto para 1D como para 2D (Tabla I). En el análisis estadístico con los I.C., en 0D se presenta una superposición de intervalos entre todos los forofitos, por lo que no hubo diferencias significativas en la riqueza de las morfoespecies (Figura 4). Para 1D , la principal superposición de los I.C. es en *B. fagoroides* con *M. geometrizans* y entre *P. laevigata* con *A. schaffneri* lo que demuestra que no existen diferencias en los valores de diversidad entre estos forofitos; también se presenta un ligero sobrelapamiento entre *P. laevigata* y *B. fagoroides* por lo que estadísticamente tampoco difieren significativamente (Figura 4). Finalmente, para 2D , la superposición en los I.C. se presenta entre *B. fagoroides* con *M. geometrizans* y entre *P. laevigata* con *A. schaffneri* por lo que no existen diferencias en los valores de diversidad entre estos forofitos (Figura 4).

Para el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), el valor más alto se presentó en *M. geometrizans*, estadísticamente diferente con los valores de *P. laevigata* y *A. schaffneri* ($t_{0.05(2), 153.4} = 2.16$ y $t_{0.05(2), 150.4} = 3.86$, respectivamente). El valor más bajo de diversidad (H') fue en *A. schaffneri* que a su

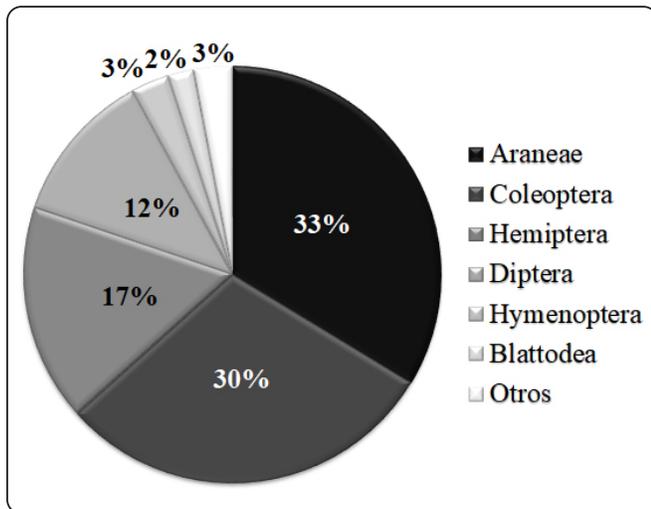


Figura 2. Abundancia de artrópodos en porcentaje a nivel de orden encontrados en *T. recurvata*.

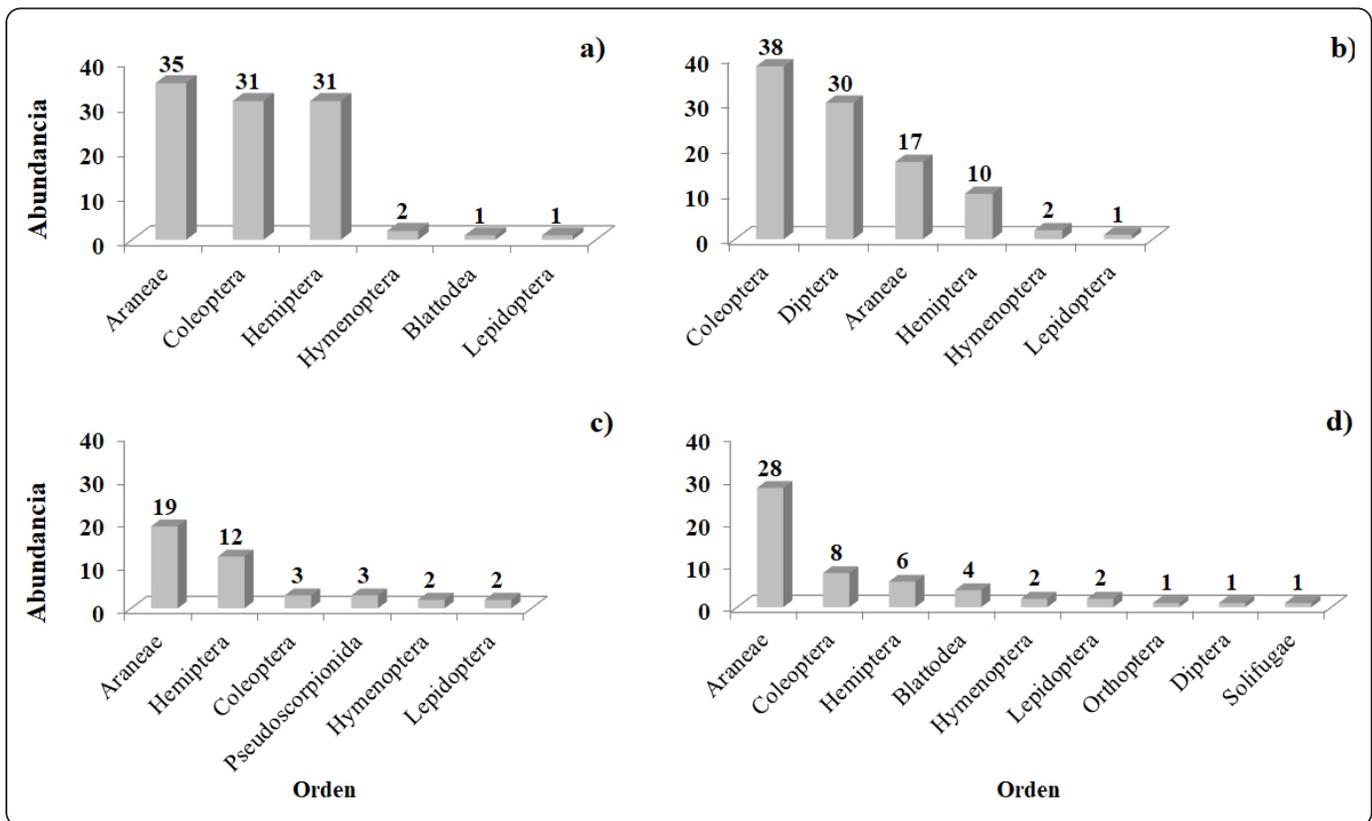


Figura 3. Abundancia de los órdenes de artrópodos presentes en *T. recurvata* por especie de forofito. a) *P. laevigata*, b) *A. schaffneri* c) *B. fagoroides* y d) *M. geometrizans*.

Tabla I. Riqueza y diversidad de los artrópodos en *T. recurvata* por especie de forofito. ${}^0D \pm I. C.$ del 95%.

	<i>P. laevigata</i>	<i>A. schaffneri</i>	<i>B. fagoroides</i>	<i>M. geometrizans</i>
Número de artrópodos	101	98	41	53
0D	34 ± 7.3	29 ± 6.7	25 ± 4.5	30 ± 5.1
1D	18.26 ± 4.81 bc	13.75 ± 3.99 c	21.16 ± 5.01 ab	24.83 ± 5.24 a
2D	10.84 ± 3.71 b	7.49 ± 2.57 b	17.69 ± 5.44 a	20.50 ± 5.64 a
Shannon-Wiener (H')	2.9 bc	2.62 c	3.05 ab	3.21 a

vez fue estadísticamente semejante con *P. laevigata* ($t_{0.05(2), 195.9} = 1.68$). En el caso de *B. fagoroides*, el índice de diversidad (H') fue estadísticamente similar al de *M. geometrizans* y de *P. laevigata* ($t_{0.05(2), 90.2} = 1.25$ y $t_{0.05(2), 132.7} = 1.01$, respectivamente) (Tabla I).

Respecto a la diversidad beta, el valor más alto en el índice de Jaccard (IJ) es entre *P. laevigata* y *B. fagoroides* con el 25.53% de las morfoespecies compartidas entre ambas especies y el valor más bajo entre *M. geometrizans* y *A. schaffneri* con un 13.72% de especies compartidas (Tabla II).

Es de notar que tanto las curvas de rarefacción (Figura 4) como la curva de acumulación de especies para cada forofito (Figura 5) no se acercaron a la asíntota, lo que coincide con los estimadores en el número esperado de especies.

En todos los casos, el número estimado de especies por forofito fue superior al observado (Tabla III). El estimador Chao1 fue el que calculó un mayor número de morfoespecies esperadas que los demás estimadores; según esto, en *P. laevigata* se encontró el 45.24% de las especies esperadas, en *A. schaffneri* el 41.14%, en *B. fagoroides* el 39.25%, y en *M. geometrizans* el 52.11%. Todos los estimadores denotaron que en *P. laevigata* se considera encontrar un mayor número de morfoespecies que en los demás forofitos; para *B. fagoroides* se espera el menor número de morfoespecies según los estimadores Jack1, Jack2 y Bootstrap; Chao1 indica que el menor número de morfoespecies sería en *M. geometrizans* (Tabla III).

DISCUSIÓN

T. recurvata es una especie de crecimiento compacto, con una reducida complejidad estructural para la formación de microambientes en comparación con las bromelias de tipo fitotelmata; en consecuencia, el número de artrópodos que se presentan entre sus hojas es reducido. Según la información que se muestra de otros trabajos, el número de artrópodo por planta van desde los 2 hasta los 5.6 individuos promedio (Frank *et al.*, 2004; Luna-Cozar *et al.*, 2020; Troya *et al.*, 2012). No obstante, *T. recurvata* se considera una especie importante para el refugio de artrópodos en ambientes secos, particularmente en la temporada de secas (Luna-Cozar *et al.*, 2020).

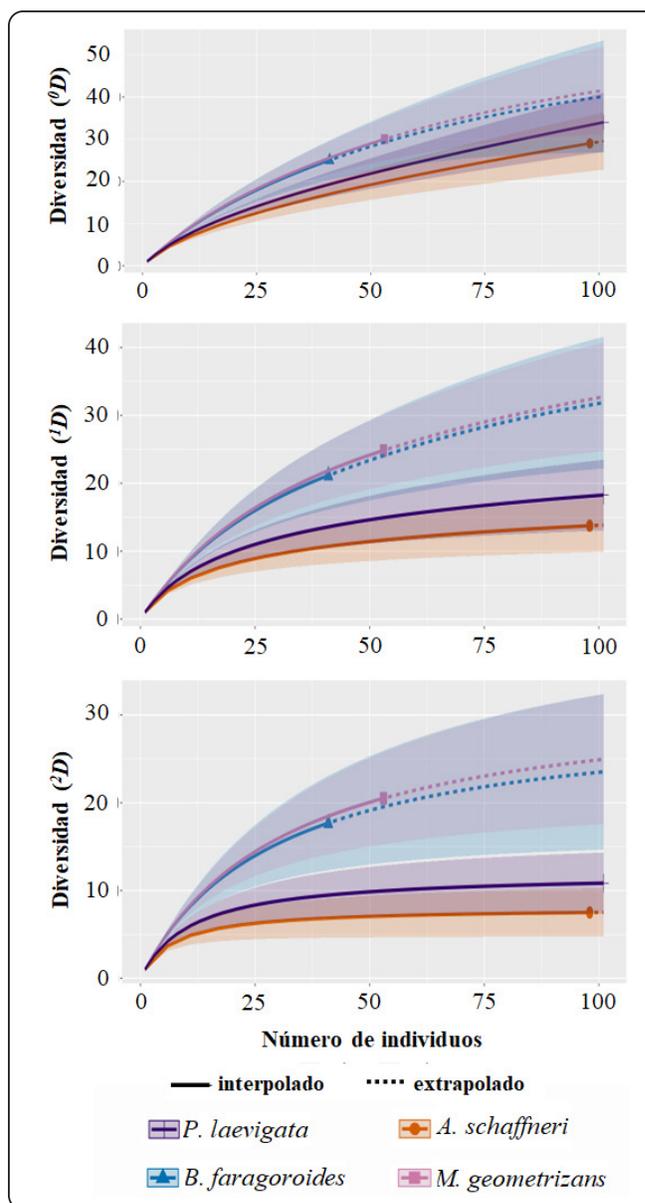


Figura 4. Curva de rarefacción del número efectivo de especies 0D , 1D y 2D para cada especie de forofito con intervalos de confianza (I.C.) del 95% (áreas sombreadas). Las líneas sólidas representan la interpolación y las líneas punteadas la extrapolación.

Tabla II. Índice de Jaccard (*IJ*) entre forofitos.

	<i>A. schaffneri</i>	<i>B. fagoroides</i>	<i>M. geometrizans</i>
<i>P. laevigata</i>	18.86	25.53	16.66
<i>A. schaffneri</i>	-	20.0	13.72
<i>B. fagoroides</i>	-	-	17.39

Tabla III. Número estimado de especies de artrópodos en *T. recurvata* por especie de forofito.

	<i>P. laevigata</i>	<i>A. schaffneri</i>	<i>B. fagoroides</i>	<i>M. geometrizans</i>
Chao1	75.14	70.48	63.68	57.57
Jack1	54.57	47.86	41.28	46.14
Jack2	68.14	60.59	52.47	56.86
Bootstrap	42.75	36.96	31.86	36.37

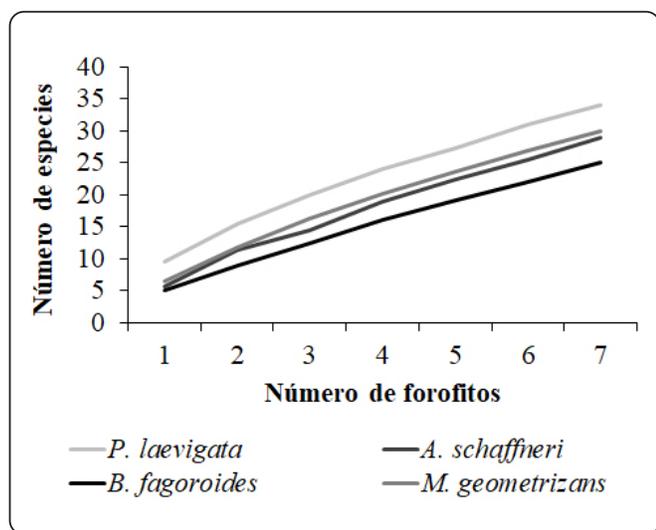


Figura 5. Curva de acumulación de especies para cada especie de forofito.

Las bromelias proveen de microhábitats a una amplia diversidad de artrópodos con requerimientos ecológicos distintos (Troya *et al.*, 2012), así, las especies que se presentan pueden ser desde visitantes, hasta aquellas que encuentran un ambiente propicio para la reproducción, protección contra los depredadores, o un espacio para la obtención de alimento (ya sean saprófagos, fitófagos o zoófagos) (Armbruster *et al.*, 2002; Frank & Lounibos, 2008; Mondragón-Chaparro & Cruz-Ruiz, 2008). Así, Frank & Lounibos (2008) consideran que las especies presentes en las bromelias van desde las que mantienen una relación obligada o especialistas (que ocupan de manera permanente los espacios y que éstos son determinantes para su supervivencia), y las generalistas (aquellas que están en búsqueda de humedad,

un escondite o de presas) (Frank *et al.*, 2004). Por lo que las bromelias son esenciales para muchas especies de insectos (Frank & Lounibos, 2008; Stuntz *et al.*, 2002).

Los órdenes Coleoptera, Hemiptera, Diptera y Araneae son comunes de encontrar en las bromelias, en particular en el género *Tillandsia* (Becerril-González, 2012; Frank *et al.*, 2004; Guzmán-Jacob, 2013; Mondragón, Martínez-Martínez & Franco-Méndez, 2006; Mondragón-Chaparro & Cruz-Ruiz, 2008; Ospina-Bautista *et al.*, 2004; Troya *et al.*, 2012). En el caso de los coleópteros, se reconocen a los organismos con diferentes hábitos alimenticios, como por ejemplo los zoófagos (como en este caso la familia Coccinellidae), los saprófagos y los típicamente fitófagos (como la familia Chrysomelidae y Curculionidae) (Mondragón-Chaparro & Cruz-Ruiz, 2008; Ospina-Bautista *et al.*, 2004). Los hemípteros son típicamente fitófagos, sin embargo, también se pueden presentar especies depredadoras de otros insectos (como la familia Reduviidae) (Mondragón-Chaparro & Cruz-Ruiz, 2008). Los dípteros guardan una estrecha relación con las bromelias, ya que en ellas están los microambientes necesarios para completar una parte de su ciclo de vida y típicamente se les encuentra en la etapa larvaria (Hornung-Leoni *et al.*, 2011; Ospina-Bautista *et al.*, 2004).

Las especies del orden Araneae son comunes en las plantas epífitas, entre ellas las bromelias, donde hayan un hábitat favorable para obtener su alimento (presas), reproducirse y refugiarse de sus depredadores (Gonçalves-Souza, Brescovit, Rossa-Feres & Romero, 2010; Navarrete-Jiménez, Herrera-Fuentes, Bazán-Morales, Zavala-Hurtado & Campos-Serrano, 2018). Las arañas son organismos sensibles a los cambios microambientales, por lo que la complejidad estructural del hábitat incide sobre la riqueza, la abundancia, la composición,

así como la diversidad taxonómica y funcional de este grupo (Benítez-Malvido *et al.*, 2016; Carvalho *et al.*, 2011; Gonçalves-Souza, Almeida-Neto & Romero, 2011; Gonzalez *et al.*, 2021). Algunas especies de arañas se han especializado para vivir en el microhábitat que ofrecen las bromelias, al no encontrarlo en otros sitios, por lo que se sugiere que estas plantas son amplificadoras de la diversidad (Gonçalves-Souza *et al.*, 2010). También se ha reportado que los gremios de arañas en función de su hábito para conseguir alimento (ya sean cazadoras activas o tejedoras de redes de telarañas), está en función de la complejidad de la estructura morfológica de las especies de bromelias (Gonçalves-Souza *et al.*, 2011); no obstante, esto es una cuestión que no fue abordada en este trabajo pero que es relevante de conocer particularmente por el tipo de hojas (filiformes) y la forma que presenta *T. recurvata*.

Es de destacar que se encontró una morfoespecie perteneciente al orden Pseudoscorpionida y otra más del orden Solifugae; en ambos casos, es la primera vez que se reportan en *T. recurvata*. Los pseudoescorpiones particularmente son de hábitos cavernícolas aunque también hay especies de hábitos foréticos (Ceballos, 2004; Villegas-Guzmán & Hernández-Betancourt, 2006; Villegas-Guzmán, Martínez-Luque & Zurita-García, 2016; Villegas-Guzmán & Pérez, 2005); están en pequeños microhábitats como debajo del mantillo, la corteza de los árboles, debajo de las piedras, en el guano (Martínez, Villegas-Guzmán, Quirós, Emmen & Gaona, 2019), entre grietas y rocas (Muchmore, 1990), en nidos de insectos y también han sido reportados en bromelias (Islair, Carvalho, Ferreira & Zina, 2015; Rocha, Lachaud & Pérez-Lachaud, 2020). Por otro lado, los solífugos son de comportamiento nocturno escondiéndose en el día debajo de piedras, grietas o bien excavando en la tierra suelta (Mullen, 2019), aunque Armas & Teruel (2005) también los reportaron en una especie del género *Tillandsia*.

La temporalidad es un factor que influye en la abundancia de ciertos grupos funcionales en las epífitas del género *Tillandsia*; por ejemplo, en la temporada de lluvias las especies de artrópodos están representados principalmente por zoófagos, fitófagos y saprofitos, mientras que en la temporada de secas, los zoófagos son los más abundantes, entre ellos las especies del orden Araneae (Mondragón-Chaparro & Cruz-Ruiz, 2008; Navarrete-Jiménez *et al.*, 2018).

Son diversos los factores que influyen en la riqueza y en la abundancia de los artrópodos que se presentan en el interior de una bromelia. Estos factores son tanto bióticos (como la especie de bromelia, el número de hojas y las interacciones ecológicas que se forman en su interior), como abióticos (estructura física de la planta, su tamaño, las características del hábitat, además de la temperatura y la humedad ambiental) (Araújo *et al.*, 2007; Armbruster *et al.*, 2002; Hornung-Leoni *et al.*, 2011; Mondragón-Chaparro & Cruz-Ruiz, 2008). Además, estos factores responden tanto a los patrones espaciales como

a los temporales (Bernal, Valverde & Hernández-Rosas, 2005; Caldiz, Belgrano, Fernández & Andía, 1993). En los ambientes secos, en el interior de las bromelias se presentan condiciones microclimáticas favorables para los artrópodos, como una menor temperatura y una mayor humedad en comparación con los sitios adyacentes, por lo que los artrópodos buscan un refugio y alimento ante estas condiciones lo que incrementa la riqueza de las especies en comparación con la temporada de lluvias (Cutz-Pool, Ramírez-Vázquez, Castro-Pérez, Puc-Paz & Ortiz-León, 2016; Liria, 2007; Luna-Cozar *et al.*, 2020; Mondragón-Chaparro & Cruz-Ruiz, 2008; Wilches-Álvarez, Botero-Á & Cortés-P, 2013).

Los resultados aquí expuestos tanto por las curvas de acumulación de especies, así como la de los estimadores de la diversidad, muestran que la riqueza esperada de las especies en *T. recurvata* es mayor de la que fue registrada en este trabajo, por lo que se recomienda que en posteriores estudios ampliar el esfuerzo de muestreo en las diferentes épocas (lluvias y secas), con el fin de incrementar el número de especies registradas, además de que se amplía el conocimiento sobre su comportamiento y la diversidad de los artrópodos en los sitios muestreados.

Un factor que no se ha examinado en los trabajos que estudian la estructura y la composición de los artrópodos asociados a las bromelias es la influencia del forofito. En este trabajo es de notar las diferencias de las morfoespecies, así como de su abundancia en *T. recurvata* entre las especies de forofitos, por lo que es de suponer una influencia de éstos últimos en la diversidad de los artrópodos. Los casos más notorios se encuentran entre los forofitos de *P. laevigata* y *B. fagoroides*, de distintas localidades, sin embargo, el índice de similitud de Jaccard entre morfoespecies fue el más alto, a diferencia de *M. geometrízans* y *B. fagoroides* que perteneciendo a la misma localidad (“la Cañada”), el índice de similitud fue el más bajo. Luna-Cozar *et al.* (2020), al estudiar a *T. recurvata* señalan que la presencia de las especies de artrópodos obedece a factores aleatorios, sin embargo, otros estudios señalan que las variaciones en la riqueza y la composición de las comunidades de artrópodos difieren entre los distintos tipos de microhábitat dentro de un ecosistema, ya que cada uno de ellos se caracteriza por un conjunto particular de condiciones bióticas (como el tipo y la disponibilidad de alimento, la interacción con otras especies) y condiciones abióticas (particularmente por las variaciones en la temperatura y la humedad del aire) que influyen en los ensambles de las especies de los artrópodos (Barton, Evans, Foster, Cunningham & Manning, 2017; Scheffers *et al.*, 2014). Es por lo anterior que son necesarios más estudios enfocados en la influencia del forofito.

CONCLUSIONES

Entre las hojas de *T. recurvata* se colectaron diversas morfoespecies de las Clases Insecta y Arachnida y de éstas, los órdenes más abundantes fueron Araneae, Coleoptera,

Hemiptera y Diptera. En lo que se refiere a la mayor riqueza de especies de artrópodos se encontró cuando *P. laevigata* fungió como forofito, mientras que la diversidad más alta fue en *M. geometrizans*. Este trabajo contribuye con la noción de que *T. recurvata* funge como un refugio para los artrópodos donde encuentran un microambiente favorable particularmente en la temporada de secas. Además, se establece la posible influencia del forofito en la diversidad de los artrópodos en *T. recurvata*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos la ayuda del Dr. Carlos Castillejos Cruz en el trabajo de campo, en particular en la identificación taxonómica de las especies vegetales de las localidades de estudio. También se agradece al estudiante de biología Cristian Alin Contreras Rodríguez por el apoyo en el trabajo de campo.

REFERENCIAS

- Alanís-Méndez, J. L., Muñoz-Arteaga, F. O., López-Ortega, M., Cuervo-López, L. & Raya-Cruz, B. E. (2007). Aportes al conocimiento de las epifitas (Bromeliaceae, Cactaceae y Orchidaceae) en dos tipos de vegetación del Municipio de Pánuco, Veracruz, México. *Revista UDO Agrícola*, **7**(1), 160-174.
- Alonso-Zarazaga, M. A. (2015). Clase Insecta: Orden Coleoptera. *Revista IDE@ - SEA*, **55**, 1-18.
- Araújo, V. A., Melo, S. K., Araújo, A. P. A., Gomes, M. L. M. & Carneiro, M. A. A. (2007). Relationship between invertebrate fauna and bromeliad size. *Brazilian Journal of Biology*, **67**(4), 611-617.
- Armas, L. F. & Teruel, R. (2005). Los solífugos de Cuba (Arachnida: Solifugae). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, **37**, 149-163.
- Armbruster, P., Hutchinson, R. A. & Cotgreave, P. (2002). Factors influencing community structure in a South American tank bromeliad fauna. *OIKOS*, **96**, 225-234.
- Barton, P. S., Evans, M. J., Foster, C. N., Cunningham, S. A. & Manning, A. D. (2017). Environmental and spatial drivers of spider diversity at contrasting microhabitats. *Austral Ecology*, **42**, 700-710. <https://doi.org/10.1111/aec.12488>
- Becerril-González, M. (2012). Importancia de la fauna asociada a una planta epífita (*Tillandsia polystachia*) en un bosque tropical caducifolio de México. *Herreriana, Revista de Divulgación de la Ciencia*, **2**, 9-12.
- Bedoya-Roqueme, E. & Tizo-Pedroso, E. (2021). Techniques for Collection and Sampling of Pseudoscorpions (Arthropoda: Arachnida). En J.C. Santos & G. Wilson Fernandes (Ed.). *Measuring Arthropod Biodiversity. A Handbook of Sampling Methods* (pp. 341-364). Springer Nature Switzerland.
- Benítez-Malvido, J., Dáttilo, W., Martínez-Falcón A. P., Durán-Barrón, C., Valenzuela, J., López, S. & Lombera, R. (2016). The Multiple Impacts of Tropical Forest Fragmentation on Arthropod Biodiversity and on their Patterns of Interactions with Host Plants. *PLoS ONE*, **11**(1), e0146461, 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146461>
- Bermúdez-Monge, J. & Barrios, H. (2011). Insectos asociados a *Vriesea sanguinolenta* Congn. & Marchal (Bromeliaceae). *Scientia (Panamá)*, **21**(2), 7-32.
- Bernal, R., Valverde, T. & Hernández-Rosas, L. (2005). Habitat preference of the epiphyte *Tillandsia recurvata* (Bromeliaceae) in a semi-desert environment in Central Mexico. *Canadian Journal of Botany*, **83**(10), 1238-1247.
- Caldiz, D. O., Belgrano, J., Fernández, V. L. & Andía, I. (1993). Survey of *Tillandsia recurvata* L. preference, abundance and its significance for natural forests. *Forest Ecology and Management*, **57**, 161-168. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90169-N](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90169-N)
- Campos-Serrano, J., Herrera-Fuentes, Ma. C., Flores-Cruz, M. & Zavala-Hurtado, A. (2009). Diversidad de artrópodos asociados a *Tillandsia brachycaulos* en una selva baja y una zona cafetalera en San Miguel del Puerto, Oaxaca. *Revista Entomología Mexicana*, **8**, 283-287.
- Carvalho, J. C., Cardoso, P., Crespo, L. C., Henriques, S., Carvalho, R. & Gomes, P. (2011). Determinants of beta diversity of spiders in coastal dunes along a gradient of mediterraneity. *Diversity and Distributions*, **17**, 225-34. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00731.x>
- Ceballos, A. (2004). Pseudoscorpionida. En: J. Llorente-Bousquets, J. J. Morrone, O.Y. Ordóñez, & I. Vargas-Fernández (Eds.). *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento* (pp. 417-429). **Vol. 4**. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Chao, A. (2005). Species estimation and applications. En N. Balakrishnan, C. B. Read & B. Vidakovic (Eds.), *Encyclopedia of Statistical Sciences* (2a. Edición, **Vol. 12**, pp. 7907-7916). Nueva York: Wiley.
- Chao, A., Chiu, C.-H. & Jost, L. (2014). Unifying Species Diversity, Phylogenetic Diversity, Functional Diversity, and Related Similarity and Differentiation Measures Through Hill Numbers. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **45**, 297-324. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091540>
- Chao, A. & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, **93**(12), 2533-2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Choate, P. M. (2003). *Introduction to the Identification of Beetles (Coleoptera)*. Dichotomous Keys to Some Families of Florida Coleoptera. University Florida, Florida. Recuperado el 20 de marzo de 2019 de <http://entnemdept.ufl.edu/choate/beetles.pdf>
- Correll, D. S. & Johnston, M. C. (1970). *Manual of the Vascular Plants of Texas*. Texas: Texas Research Foundation, Renner.
- Cutz-Pool, L. Q., Ramírez-Vázquez, U. Y, Castro-Pérez, J. M., Puc-Paz, W. A. & Ortiz-León, H. J. (2016). La artrópodo-fauna asociada a *Tillandsia fasciculata* en bajos inundados de tres sitios de Quintana Roo, México. *Entomología Mexicana*, **3**, 576-581.
- Espejo-Serna, A. & López Ferrari, A. R. (2004). Notas sobre la familia Bromeliaceae en el Valle de México. *Acta*

- Botánica Mexicana*, **67**, 49–57. <https://doi.org/10.21829/abm67.2004.973>
- Espejo-Serna, A. & López Ferrari, A. R. (2018). La familia Bromeliaceae en México. *Botanical Sciences*, **96(3)**, 533-554. <https://doi.org/10.17129/botsci.1918>
- Flores-Palacios, A. & García-Franco, J. G. (2006). The relationship between tree size and epiphyte species richness: testing four different hypotheses. *Journal of Biogeography*, **33(2)**, 323-330. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01382.x>
- Frank, J., Sheenivasan, S., Benschhoff, P., Deyrup, M., Edwards, G., Halbert, S., Hamon, A., Lowman, M., Mockford, E., Scheffrahn, R., Stecks, G., Thomas, M., Walker, T. & Welbourns, W. (2004). Invertebrate animals extracted from native *Tillandsia* (Bromeliales: Bromeliaceae) in Sarasota county, Florida. *Florida Entomologist*, **87(2)**, 176-185. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2004\)087\[0176:IAEFNT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2004)087[0176:IAEFNT]2.0.CO;2)
- Frank, J. H. & Lounibos, L. P. (2008). Insects and allies associated with bromeliads: a review. *Terrestrial Arthropod Reviews*, **1(2)**, 125-153. <https://doi.org/10.1163/187498308X414742>
- Gentry, A. H. & Dodson, C. H. (1987). Diversity and biogeography of neotropical vascular epiphytes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **74(2)**, 205-233. <https://doi.org/10.2307/2399395>
- Gonçalves-Souza, T., Brescovit, A. D., Rossa-Feres, D. C. & Romero, G. Q. (2010). Bromeliads as biodiversity amplifiers and habitat segregation of spider communities in a Neotropical rainforest. *Journal of Arachnology*, **38(2)**, 270-279. <https://doi.org/10.1636/P09-58.1>
- Gonçalves-Souza, T., Almeida-Neto, M. & Romero, G. Q. (2011). Bromeliad architectural complexity and vertical distribution predict spider abundance and richness. *Austral Ecology*, **36**, 476-484. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2010.02177.x>
- Gonzalez, D. C., Cajaiba, R. L., Périco, E., da Silva, W. B., Brescovite, A. D., Crespi, A. M. L. & Santos, M. (2021). Assessing Ecological Disturbance in Neotropical Forest Landscapes Using High-Level Diversity and High-Level Functionality: Surprising Outcomes from a Case Study with Spider Assemblages. *Land*, **10(7)**, 758, 1-18. <https://doi.org/10.3390/land10070758>
- Guzmán-Jacob, V. (2013). Diversidad de macroartrópodos asociados a tres especies de *Tillandsia* (Bromeliaceae) en Tlalnahuayocan, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales, México. pp. 81
- Harvey, M. S. (1992). The Phylogeny and Classification of the Pseudoscorpionida (Chelicerata): Arachnida. *Invertebrate Taxonomy*, **6**, 1373-435.
- Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology*, **54**, 427-432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Hornung-Leoni, C. T., Chavarria-Olmedo, Y. J. & Ramírez-Morillo, I. M. (2019). The Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (Hidalgo): An illustrated checklist of bromeliads and orchids and their high levels of Mexican endemisms. *PhytoKeys*, **118**, 105–123. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.118.31603>
- Hornung-Leoni, C. T., Márquez, J. & Bueno-Villegas, J. (2011). Arthropods associated with *Tillandsia deppeana* (Bromeliaceae) from Hidalgo State, Mexico, with three first state records of coleoptera species. *Entomological News*, **122(5)**, 469-476. <https://doi.org/10.3157/021.122.0508>
- Hornung-Leoni, C. T. & Pintado-Peña, A. G. (2011). Preliminary exploration of bromeliad biodiversity of Hidalgo state, Mexico. *Journal of the Bromeliad Society*, **61(4)**, 162-168.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H. & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, **7**, 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Hutcheson, K. (1970). A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology*, **29(1)**, 151-154. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(70\)90124-4](https://doi.org/10.1016/0022-5193(70)90124-4)
- INEGI. (2005). *Tecozautla estado de Hidalgo. Cuaderno estadístico municipal. Edición 2005*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 24 de marzo de 2019 de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825001473>
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Tecozautla, Hidalgo. Clave geoestadística 13059*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Islair, P., Carvalho, K. S., Ferreira, F. C. & Zina, J. (2015). Bromeliads in Caatinga: an oasis for invertebrates. *Biotemas*, **28(1)**, 67-77. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2015v28n1p67>
- Jocqué, R. & Dippenaar-Schoeman, A. S. (2007). *Spider families of the world*. África: Royal Museum for Central Africa.
- Liria, J. (2007). Fauna fitotelmata en las bromelias *Aechmea fendleri* André y *Hohenbergia stellata* Schult del Parque Nacional San Esteban, Venezuela. *Revista Peruana de Biología*, **14(1)**, 33-38.
- Luna-Cozar, J., Martínez-Madera, O. & Jones, R. W. (2020). Ball moss, *Tillandsia recurvata* L., as a refuge site for arthropods in a seasonally dry tropical forest of Central Mexico. *Southwestern Entomologist*, **45(2)**, 445-460.
- Martínez, R. J., Villegas-Guzmán, G. A., Quirós, D. I., Emmen, D. & Gaona, S. (2019). Nuevos datos de distribución de algunas especies de pseudoscorpiones (Arachnida: Pseudoscorpiones) del continente americano. *Revista Ibérica de Aracnología*, **35**, 67-69.
- McVaugh, R. (1992). *Flora Novo Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico. Vol. 17. Bromeliaceae*. Michigan: University of Michigan Herbarium, Ann Arbor.
- McVaugh, R. (1989). Bromeliaceae to Dioscoreaceae. En Anderson, W. R. (Ed.). *Flora Novo-Galiciana*, **15**. Michigan: University of Michigan Press. Ann Arbor.
- Mondragón-Chaparro, D. M. & Cruz-Ruiz, G. I. (2008). Seasonal variation of the macro-arthropod community associated to *Tillandsia carlos-hankii* (Bromeliaceae) in an oak-pine forest

- in Oaxaca, Mexico. *Brenesia*, **70**, 11-22.
- Mondragón, D., Martínez-Martínez, L. & Franco-Méndez, A. (2006). La riqueza de artrópodos en las bromelias epífitas de Ixtepeji, Oaxaca, México. *Entomología Mexicana*, **5(1)**, 327-329.
- Muchmore, W. B. 1990. Pseudoscorpionida. En D.L Dindal (Ed.). *Soil biology guide* (pp. 503-527). John Wiley and Sons, New York.
- Mullen, G. R. (2019). Chapter 24 - Solpugids (Solifugae). En G.R. Mullen & L.A. Durden (Eds.). *Medical and Veterinary Entomology* (pp. 505-506). 3a. edición, Elsevier Inc.
- Murillo, R. M., Palacios, J. G., Labougle, J. M., Hentschel, E. M., Llorente, J. E., Luna, K., Rojas, P. & Zamudio, S. (1983). Variación estacional de la entomofauna asociada a *Tillandsia* spp. en una zona de transición biótica. *The Southwestern Entomologist*, **8(4)**, 292-302.
- Navarrete-Jiménez, A., Herrera-Fuentes, M. C. Bazán-Morales, A., Zavala-Hurtado, J. A. & Campos-Serrano, J. (2018). Listado preliminar del orden Araneae en el jardín botánico de Zapotitlán, Puebla. *Entomología Mexicana*, **5**, 576-579.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H. & Wagner, H. (2015). The vegan package. Community ecology package. R package version 2.3-2. Disponible en: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Ospina-Bautista, F., Estévez-Varón, J. V., Betancur, J. & Realpe-Rebolledo, E. (2004). Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* Baker (Bromeliaceae) en un bosque alto andino colombiano. *Acta Zoológica Mexicana*, **20(1)**, 153-166.
- Reyes-García, C., Griffiths, H., Rincón, E. & Huante, P. (2008). Niche Differentiation in Tank and Atmospheric Epiphytic Bromeliads of a Seasonally Dry Forest. *BIOTROPICA*, **40(2)**, 168-175. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2007.00359.x>
- Reyes-García, C., Mejía-Chang, M. & Griffiths, H. (2011). High but not dry: diverse epiphytic bromeliad adaptations to exposure within a seasonally dry tropical forest community. *New Phytologist*, **193**, 745-754. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03946.x>
- Richardson, B. A., Rogers, C. & Richardson, M. J. (2000). Nutrients, diversity, and community structure of phytotelm systems in a lower mountain forest, Puerto Rico. *Ecological Entomology*, **25(3)**, 348-356. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2000.00255.x>
- Rocha, F. H., Lachaud, J. P. & Pérez-Lachaud, G. (2020). Myrmecophilous organisms associated with colonies of the ponerine ant *Neoponera villosa* (Hymenoptera: Formicidae) nesting in *Aechmea bracteata* bromeliads: a biodiversity hotspot. *Myrmecological News*, **30**, 73-92. http://dx.doi.org/10.25849/myrmecol.news_030:073
- Rojas, S., Castillejos-Cruz, C. & Solano, E. (2013). Florística y relaciones fitogeográficas del matorral xerófilo en el Valle de Tecozautla, Hidalgo, México. *Botanical Sciences*, **91(3)**, 273-294.
- Rzedowski, J. (1994). *La Vegetación de México*. México, D. F.: Editorial Limusa.
- Sánchez-Reyes, U. J., Luna-Cozar, J. Hurtado-Santiago E. & Jones, R.W. (2020). Diversidad estacional de Chrysomelidae (Coleoptera) en *Tillandsia recurvata* L. (Bromeliaceae) en El Parque Nacional El Cimatario. *Entomología Mexicana*, **7**, 306-314. 85: 271-278. <https://doi.org/10.7550/rmb.31424>
- Scheffers, B. R., Edwards, D. P., Diesmos, A., Williams, S. E. & Evans, T.A. (2014). Microhabitats reduce animal's exposure to climate extremes. *Global Change Biology*, **20**, 495-503. <https://doi.org/10.1111/gcb.12439>
- Shaw, D. C. (2004). *Vertical organization of canopy biota. Forest canopies*. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Stuntz, S., Ziegler, C., Simon, U. & Zotz, G. (2002). Diversity and structure of the arthropod fauna within three canopy epiphyte species in central Panama. *Journal of Tropical Ecology*, **18(2)**, 161-176. <https://doi.org/10.1017/S0266467402002110>
- Triplehorn, C. A. & Johnson, N. F. (2005). *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. Nueva York: Holt, Rineheart & Winston.
- Troya, A., Bersosa, F. & Vega, M. (2012). Diversidad preliminar de artrópodos en los remanentes de bosques secos andinos del Valle del Chota en el norte del Ecuador. *Revista Politécnica*, **30(3)**, 120-135.
- Ubick, D., Paquin, P., Cushing, P. E. & Roth, V. (2005). *Spiders of North America: an identification manual*. San Francisco: American Arachnological Society.
- Vázquez, R. I. (1995). Los Arácnidos de México Parte I: Ricinulei, Amblypygi, Solifugae, Palpigradi, Schizomida, Uropygi. *Dugesiana*, **2(1)**, 15-36.
- Villegas-Guzmán, G. A. & Hernández-Betancourt, S. (2006). Pseudoescorpiones foréticos de roedores en México. *Acta Zoológica Mexicana*, **22**, 141-143.
- Villegas-Guzmán, G. A., Martínez-Luque, E. O. & Zurita-García, M. L. (2016). Pseudoescorpiones (Arachnida: Pseudoescorpiones) foréticos con *Chalcolepidius approximatus* (Coleoptera: Elateridae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **87(4)**, 1369-1371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.019>
- Villegas-Guzmán, G. A. & Pérez, T.M. (2005). Pseudoescorpiones (Arachnida: Pseudoescorpionida) asociados a nidos de ratas del género *Neotoma* (Mammalia: Rodentia) del Altiplano Mexicano. *Acta Zoológica Mexicana*, **21(2)**, pp.63-77.
- Wilches-Álvarez, W., Botero-Á., M. F. & Cortés-P., F. (2013). Macroinvertebrados asociados a *Guzmania mitis* L. B. Sm. (Bromeliaceae) en dos fragmentos de robleal. *Colombia Forestal*, **16(1)**, 5-20.
- Zaragoza-Caballero, S., Navarrete-Heredia, J. L. & Ramírez García, E. (2016). *Temolines. Los Coleópteros entre los Antiguos Mexicanos*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zotz, G. (2013). The systematic distribution of vascular epiphytes: a critical update. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **171(3)**, 453-481. <https://doi.org/10.1111/boj.12010>

ANEXO I

Listado de artrópodos colectados en *T. recurvata* en las cuatro especies de forofitos.
Se indica el nivel taxonómico y el número de individuos por morfoespecie.

Clase	Orden	Familia	<i>P. l.</i>	<i>A. s.</i>	<i>B. f.</i>	<i>M. g.</i>
Hexapoda (Insecta)	Blattodea	Ectobiidae	1			4
		Coleoptera	Carabidae		1	
		Chrysomelidae sp. 1	11	6	3	2
		Chrysomelidae sp. 2	2		2	1
		Chrysomelidae sp. 3	1			
		Chrysomelidae sp. 4	1			
		Chrysomelidae sp. 5	1		1	
		Chrysomelidae sp.6				1
		Chrysomelidae sp.7		1	1	
		Chrysomelidae sp. 8		1		
		Chrysomelidae sp. 9	5			
		Coccinellidae sp. 1	4	13	4	2
		Coccinellidae sp. 2		5		
		Curculionidae		2	1	
		Melyridae sp. 1	5			
		Melyridae sp. 2		9		
		Pyrochroidae	1			
	Diptera	Drosophilidae sp. 1				1
		Drosophilidae sp. 2		30		
	Hemiptera	Cicadellidae sp. 1	5			
		Cicadellidae sp. 2	6			
		Cicadellidae sp. 3	11			
		Delphacidae	1			
		Largidae	2	1	1	
		Lygaeidae	1	3		
		Miridae sp.1	1	1	2	1
		Miridae sp. 2	1			
		Pentatomidae				1
		Piesmatidae sp. 1	1	4		
		Piesmatidae sp. 2	1			
		Reduviidae sp. 1	1			1
		Reduviidae sp. 2		1		2
		n.d.				1
		Hymenoptera	Formicidae sp. 1	1		
	Formicidae sp. 2					2
	Formicidae sp. 3		1		1	
	Vespidae sp. 1			1		
	Vespidae sp. 2			1		
		Vespidae sp. 3			1	

Clase	Orden	Familia	<i>P. l.</i>	<i>A. s.</i>	<i>B. f.</i>	<i>M. g.</i>
	Lepidoptera	Alucitidae sp. 1				1
		Alucitidae sp. 2				1
		n.d.			1	
		n.d. - larva	1	1	1	
	Orthoptera	Gryllidae				1
Arachnida	Araneae	Amaurobiidae sp. 1	1	1	1	
		Amaurobiidae sp. 2			1	
		Araneidae				1
		Dictynidae sp. 1			1	2
		Dictynidae sp. 2				1
		Linyphiidae sp. 1	23		5	5
		Linyphiidae sp. 2	2			
		Linyphiidae sp. 3	1	2		
		Linyphiidae sp. 4	3		1	
		Linyphiidae sp. 5			1	
		Linyphiidae sp. 6				1
		Linyphiidae sp. 7	1			
		Linyphiidae sp. 8		4		
		Linyphiidae sp. 9		1		
		Linyphiidae sp. 10		1		
		Linyphiidae sp. 11			1	
		Linyphiidae sp. 12		1		
		Linyphiidae sp. 13		1		
		Oxyopidae	1			
		Philodromidae	1			1
		Pisauridae				4
		Salticidae sp. 1	1	2	2	5
		Salticidae sp. 2			1	
		Salticidae sp. 3			1	
		Salticidae sp. 4				1
		Salticidae sp. 5		1		
		Salticidae sp. 6				2
		Theridiidae sp. 1		1		3
		Theridiidae sp. 2				1
		Theridiidae sp. 3		1		
		Thomisidae sp. 1	1			
		Thomisidae sp. 2			2	
		Thomisidae sp. 3		1		
		n.d.			2	1
	Pseudoscorpionida	Olpiidae			3	
	Solifugae	Eremobatidae				1

P. l. = *P. laevigata*; *A. s.* = *A. schaffneri*; *B. f.* = *B. fagoroides*; *M. g.* = *M. geometrizans*; n.d. = no determinado.