



Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

---

---

**Iztapalapa**

**“DINÁMICA DE COMUNIDADES DE ARTRÓPODOS ASOCIADOS A  
EPÍFITAS FITOTELMATA ARTIFICIALES EN ZAPOTITLÁN DE  
LAS SALINAS, PUEBLA”**

**TESIS**

**Que para obtener el grado de Maestro en Biología**

**PRESENTA**

**Biól. Jesús Campos Serrano**



**Director: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado**

**Asesores: M. en C. Ma. del Carmen Herrera Fuentes**

**Dr. Alfonso Neri García Aldrete**

**Mayo, 2012**

**La Maestría en Biología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana  
pertenece al Padrón Nacional de  
Postgrados de Excelencia del CONACyT**



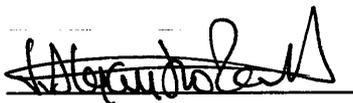
El jurado designado por la  
**División de Ciencias Biológicas y de la Salud**  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

**Biól. Jesús Campos Serrano**

El día 03 de Mayo del 2012

*Comité Tutorial y Jurado*

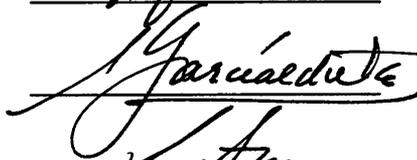
**Tutor:** Dr. José Alejandro Zavala Hurtado



**Asesor:** M. en C. Ma. del Carmen Herrera Fuentes



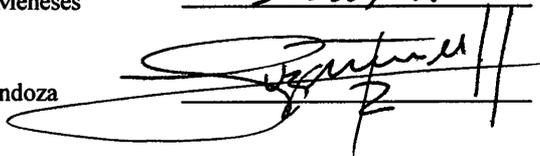
**Asesor:** Dr. Alfonso Neri García Aldrete



**Sinodal:** Dra. Rosa Gabriela Castaño Meneses



**Sinodal:** M. en C. Rafael Guzmán Mendoza



## DEDICATORIAS

A mi familia, este logro también es de ustedes.

*“Una madre es capaz de dar todo sin recibir nada, de querer con todo su corazón sin esperar nada a cambio, una madre sigue teniendo confianza en sus hijos cuando todos los demás la han perdido, es la única persona del mundo que siempre está de forma incondicional” (Anónimo).*

A las tres mujeres que han influido en mi vida, gracias por su amor y apoyo, mi madre Marisela Serrano Cedillo, mi madrina Ma. Concepción Serrano Cedillo y mi abuelita Virginia Cedillo Noguera.

A mis hermanos Brenda, Rey David, Naftali y Daniel.

A mi sobrino Víctor.

A mis primos, Yesica, Dolores y Abraham.

A mi padre, Reyes Francisco Silverio, donde quiera que estés.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la M. en C. Ma. del Carmen Herrera Fuentes, quien ha sido mi mentora y amiga, no tengo palabras para agradecer todo el apoyo brindado incondicionalmente.

Al Dr. José Alejandro Zavala Hurtado, por dirigir este proyecto, por su apoyo académico, su paciencia y porque cada momento que comparto con usted aprendo algo nuevo.

A la M. en C. María de Jesús Monserrat Jiménez, amiga, muchas gracias por todo el apoyo, este proyecto se llevo a cabo gracias a tu colaboración.

A Pedro Miranda y Joaquín Pacheco, por acompañarme en el trabajo de campo.

Al Dr. Alfonso Neri García Aldrete, por su participación en este proyecto y el apoyo en la determinación de psocópteros.

A mi amigo el M. en B. Rafael Guzmán Mendoza y a la Dra. Rosa Gabriela Castaño Meneses por aceptar ser parte de mi jurado, gracias a sus aportaciones se enriqueció este trabajo.

A mis amigos y colegas con los que he compartido tantos momentos inolvidables; Ana Jaramillo, Zurisadai Muñiz, Jorge Gaspar, Rafael Calderón, Monserrat Jiménez, Esperanza Córdova, Aileth Bazán, Jorge Orendain y Amelia Cornejo.

A mis profesores, M. en B. Ma. del Rocío Zarate, M. en C. Angélica Martínez, Dra. Beatriz Rendón, Dra. Maria Flores, Dra. Carmen de la Paz, M. en C. Ana R. Lopéz Ferrari, Dra. Leticia Pacheco, Dra. Sara Camargo, Dr. Pablo Corcuera, Biól. Marco Aurelio Pérez, Dr.

Abraham Kobelkowsky y Dr. Adolfo Espejo. Gracias por sus enseñanzas, por su apoyo y su amistad.

Al Laboratorio de Ecología y Sistemática de Microartrópodos de la Facultad de Ciencias de la UNAM, en especial a la Dra. Blanca E. Mejía, Dra. Rosa Gabriela Castaño Meneses y al Dr. José G. Palacios Vargas, por su apoyo en la determinación de los ácaros.

A mí amigo el Biól. Eduardo Cabrera por permitirme usar su ilustración para la portada de este trabajo.

A la Coordinación de la Maestría en Biología por las facilidades proporcionadas para la asistencia a congresos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la Beca de estudios de postgrado.

*“Si sirves a la naturaleza, ella te servirá a ti”*

*Confucio*

## RESUMEN

Las plantas epífitas fitotelmata representan uno de los componentes más conspicuos en los ecosistemas, su presencia en zonas áridas es de mayor importancia, ya que proporcionan un hábitat estable para diversos organismos, principalmente artrópodos. Diversos estudios han sido realizados principalmente en ecosistemas templados y tropicales, en donde se reporta que hay influencia entre el tamaño y la arquitectura de la fitotelmata con la abundancia y diversidad de artrópodos asociados a ella. El objetivo del presente estudio es contribuir al conocimiento de la dinámica de las comunidades de artrópodos asociados a dichas plantas en regiones áridas tropicales, utilizando microcosmos artificiales, en el valle de Zapotitlán, Puebla. Se utilizó un modelo artificial con variantes en tamaño y complejidad arquitectónica para describir los cambios en la composición, abundancia y diversidad de morfoespecies de artrópodos durante un año, para estimar si estos cambios están asociados al tamaño y/o a la complejidad estructural. Se elaboraron 72 plantas artificiales que fueron colocadas sobre individuos de *Beaucarnea gracilis* como forofitos en el sitio de estudio. Cada tres meses se colectaron 18 plantas artificiales y tres naturales, se procesaron y su artropodofauna se cuantificó y determinó a nivel de morfoespecies. Se registraron un total de 8,788 artrópodos distribuidos en 16 órdenes, los órdenes mejor representados en plantas artificiales: Araneae, Acarii y Psocóptera, y en plantas naturales: Díptera, Acari y Coleóptera (sólo en el tercer muestreo). Se encontró que para los muestreos I “Época de lluvias” y IV “Época de secas” ( $t_{0.008, 203} = 0.06$ ,  $p > 0.05$ , de plantas artificiales) no hay diferencias significativas entre la diversidad de morfoespecies de artrópodos, mientras que para el resto de las comparaciones los valores fueron significativamente diferentes; también se observó que la diversidad para

cada tipo morfométrico de plantas artificiales no mostró relación con el tamaño o la estructura de la planta, excepto en el muestreo III “Época de secas”; se encontraron diferencias significativas entre los valores de diversidad obtenidos para cada tipo morfométrico. El análisis de ordenación indicó que las comunidades de artrópodos presentan una alta heterogeneidad temporal asociada a la arquitectura de las fitotelmata artificiales. El ensamblaje de las comunidades se analizó a tres niveles de resolución: el primer nivel analizado “abundancias absolutas” se obtuvo mostró que las comunidades de artrópodos encontradas en los muestreos no son estables. El segundo nivel “ensamblaje con jerarquías de abundancia” se encontró que no hay un cambio significativo en la jerarquía de abundancia para MIII vs. MI de plantas naturales y todos los muestreos para plantas artificiales. El tercer nivel “presencia-ausencia” indicó que las comunidades de artrópodos asociadas a plantas naturales y plantas artificiales presentan una composición de especies muy parecida, por lo tanto son estables. El diseño de la planta artificial resultó favorable y logró simular las condiciones ambientales necesarias para que pudiera ser colonizada por artrópodos. Las plantas epífitas naturales y artificiales presentaron una gran diversidad de artrópodos (16 órdenes/190 morfoespecies). La comunidad de artrópodos establecida en las plantas artificiales presentó cambios en la riqueza y diversidad de especies, pero no se encontró un patrón claro que indicara una relación de estos cambios con el tamaño y la arquitectura de la planta, a excepción del MIII en plantas artificiales. Los estudios ecológicos con modelos artificiales para fauna asociada a plantas epífitas constituyen una opción viable, ya que permiten la conservación de estas plantas pues juegan un rol importante y fundamental en los ecosistemas, en particular en los semiáridos.

## ABSTRACT

Phytotelmata epiphytes represent one of the most conspicuous components in ecosystems, whose presence in arid is of great importance, as they provide a stable habitat for various organisms, primarily arthropods. There have been several studies mainly in temperate and tropical ecosystems, where it is reported that there is influence between the size and architecture of the phytotelmata with the abundance and diversity of arthropods associated with it. The aim of this study is to contribute to the knowledge of the dynamics of arthropod communities associated with these tropical plants in arid regions using artificial microcosm in the valley of Zapotitlán, Puebla. We used an artificial model with variations in size and architectural complexity to describe the changes in the composition, abundance and diversity of arthropod morphospecies for a year, to assess whether these changes are associated with the size and/or structural complexity. At the study site 72 plants were developed that were placed in artificial individuals phorophytes *Beaucarnea gracilis* as the study site. Every three months, 18 plants and three natural were collected, processed and arthropods were quantified and identified to morphospecies level. A total of 8.788 arthropods in 16 orders were found al final, the most common in artificial plants: Araneae, Acari and Psocoptera. And natural plants: Diptera, Acari and Coleoptera (only in the third sampling). No significant differences between the diversity of morphospecies were found only for samples I "Rainy season" and IV "dry season" ( $t_{0.008, 203} = 0.06$ ,  $p > 0.05$ , artificial plants) , while for the remaining comparisons the values were significantly different; It was also observed that the diversity for each type of artificial plants morphometry showed no relation to the size or structure of the plant (except sample III "Dry season"); significant differences were found between the diversity values obtained for each morphometric. The ordination analysis indicated that arthropod communities

have high temporal heterogeneity associated with the architecture of artificial phytotelmata. The community assembly was analyzed at three levels of resolution: In the first level analysis “absolute abundances” it was found that the arthropod communities in the samples are not stable. At the second level “Assembly of Wealth Hierarchies” no significant change in the hierarchy of abundance MIII vs. MI of natural plants and all samples for artificial plants was found. At the third level “Presence-Absence” it was found that the arthropod communities associated with natural plants and artificial plants, have a very similar species composition therefore are stable. The artificial plant design was favorable and did simulate the environmental conditions necessary for it to be colonized by arthropods. The natural and artificial epiphytes showed a variety of arthropods (16 orders/190 species). Arthropod community established in artificial plants showed changes in the richness and diversity of species, but there was no clear pattern to indicate a relationship of these changes with the size and architecture of the plant, except for sample III in Artificial plants. Ecological studies with artificial models for fauna associated with epiphytic plants are a viable option, allowing the conservation of these plants as they play an important and fundamental role in ecosystems, particularly in arid ecosystems.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	9
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	13
1.1 <i>Las zonas áridas de México</i> .....	13
1.2 <i>Las comunidades de artrópodos</i> .....	13
1.3 <i>Las plantas epífitas</i> .....	16
1.4 <i>Las plantas epífitas fitotelmata y su relación con los artrópodos</i> .....	17
1.5 <i>El uso de los sistemas artificiales para estudios ecológicos</i> .....	19
1.6 <i>Las bromelias epífitas del valle de Zapotitlán</i> .....	20
<b>2 ANTECEDENTES</b> .....	21
<b>3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	23
<b>4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	25
<b>5 HIPÓTESIS</b> .....	25
<b>6 OBJETIVOS</b> .....	26
6.1 <i>Objetivo general</i> .....	26
6.2 <i>Objetivos particulares</i> .....	26
<b>7 MÉTODOS</b> .....	27
7.1 <i>Sitio de Estudio</i> .....	27
7.2 <i>Muestreo</i> .....	29
7.2.1 <i>Diseño Experimental</i> .....	29
7.2.2 <i>Recolecta de muestras y datos</i> .....	30
7.3 <i>Análisis</i> .....	31
<b>8 RESULTADOS</b> .....	36
8.1 <i>Frecuencia de órdenes</i> .....	36
8.2 <i>Diversidad</i> .....	38
8.3 <i>Cambios en las condiciones microambientales en plantas artificiales</i> .....	41
8.4 <i>Patrones de variación espacio-temporal de las comunidades de artrópodos</i> .....	43
8.5 <i>Ensamblaje de la comunidad</i> .....	47

8.6	<i>Usos de las fitotelmata por los artrópodos</i> .....	48
9	DISCUSIÓN .....	50
10	CONCLUSIONES .....	58
11	BIBLIOGRAFÍA.....	60

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 *Las zonas áridas de México*

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 49.1% del territorio de México es semiárido o árido (Hernández, 2006). Los climas semiáridos, caracterizados por una precipitación de 300 a 600 mm, se encuentran en 28.3% del territorio, mientras que el restante 20.8% tiene climas áridos (< 300 mm de precipitación) (Hernández, 2006). La mayor parte de las áreas áridas de México, los desiertos Chihuahuense y Sonorense, que ocupan una enorme extensión en el centro y norte del país (Hernández, 2006). Además de estos dos vastos territorios, en el sur de México existe una región semiárida relativamente pequeña pero muy importante por su gran riqueza biológica: el complejo de Valles de Tehuacán-Cuicatlán, ubicado en los estados de Puebla y Oaxaca (Hernández, 2006).

## 1.2 *Las comunidades de artrópodos*

El estudio de la diversidad y los factores que estructuran a las comunidades naturales, es uno de los principales retos de la ecología, siendo particularmente importante el estudio de las comunidades de artrópodos, considerando la vasta diversidad de estos organismos, puesto que muchos de ellos ni siquiera están descritos (Godfray *et al.*, 1999). A todas las fluctuaciones o cambios que presenta una comunidad en un tiempo determinado, que se ven reflejados en parámetros como su composición, riqueza, diversidad y abundancia, y que están relacionados con procesos ecológicos como la sucesión y las interacciones y coexistencia de especies, se les conoce como dinámica de la comunidad (Pickett & McDonnell, 1989).

Cuando los cambios en la comunidad ocurren en periodos cortos y son recurrentes, se les llama anuales o estacionales, y reflejan una respuesta de las especies a cambios del ambiente que pueden afectar las interacciones entre ellas. Las fluctuaciones en las condiciones climáticas pueden provocar considerables cambios en la composición y abundancia de especies de artrópodos y, por tanto, en la estructura de la comunidad. La abundancia de los artrópodos está determinada por diferentes condiciones y recursos (pH, temperatura, humedad, disponibilidad de alimento, refugio, etc.), siendo particularmente relevante la humedad, que en la mayoría de las especies presenta una relación directa con su abundancia, mientras que, para una menor proporción no muestran respuesta alguna ante los cambios de esta condición (Schowalter, 2000).

Cuando estos cambios no se dan de manera estacional, y generalmente ocurren en periodos de tiempo prolongado, se les llama cambios sucesionales, los cuales involucran una mayor complejidad en las interacciones y en la dinámica de las especies. Estos cambios se engloban en un proceso ecológico muy importante llamado sucesión ecológica, el cual es un patrón que involucra cambio y establecimiento a través del tiempo; se entiende como sucesión a “un patrón no estacional, direccional y continuo de colonización y extinción de las poblaciones de especies en una localidad” (Begon *et al.*, 1999). Sucesión ecológica es un término aceptado por la mayoría de los ecólogos para identificar cambios temporales que se presentan en la estructura, la composición taxonómica y las funciones de un ecosistema (Martínez-Ramos & García-Orth, 2007). De acuerdo a la manera como se inicia, la sucesión puede ser de dos tipos: primaria, cuando el proceso de sucesión se inicia en un hábitat nuevo, en el que pueden establecerse especies consideradas como pioneras las cuales con el tiempo

favorecerán el establecimiento de comunidades nuevas; y secundaria, cuando una comunidad preexistente en un ecosistema es perturbada pero sin ser destruida totalmente y se lleva a cabo un proceso de regeneración de la misma (Granados & López, 2000).

De manera particular, enfocándonos en la sucesión primaria, al presentarse la invasión y establecimiento en el nuevo hábitat, se forman asociaciones de organismos capaces de aprovechar las condiciones iniciales del mismo (organismos pioneros), que pueden afectar, o no, positiva o negativamente a los organismos involucrados en la sucesión que arriban posteriormente. En general, los microorganismos son los primeros en colonizar un nuevo hábitat (charco de agua, la rama de un tronco, una planta, etc.) que sea potencialmente explotable. Las características de historia de vida de este tipo de organismos, particularmente el hecho de que presentan ciclos de vida cortos, permite el estudio de la dinámica de sus comunidades en sistemas de microcosmos que permiten tener un control de variables relativamente alto (microcosmos naturales) o casi absoluto (microcosmos artificiales en laboratorio).

Los microcosmos son pequeños sistemas ecológicos con tres características que los definen: tratabilidad, generalidad y realismo (Srivastava *et al.*, 2004), siempre y cuando se defina la escala apropiada tomando en cuenta la biología del organismo objeto de estudio y definiendo los objetivos del estudio que se quiera realizar (Carpenter, 1996). Los microcosmos pueden ser naturales (charco de agua, un pequeño parche de musgo, el tanque de una bromelia o la jarra de una planta carnívora) o artificiales (un pequeño cultivo de pulgas de agua *Daphnia pulex* en un vaso de precipitados), un pequeño acuario o una muestra de suelo. Ambos tipos de microcosmos resultan eficientes para estudios ecológicos y su eficiencia

aumenta si se tienen bien establecidos los objetivos de la investigación, ya que así se puede determinar si es más conveniente usar un microcosmos natural o uno artificial (Srivastava *et al.*, 2004). Los estudios ecológicos usando microcosmos han probado ser herramientas útiles para estudiar procesos relacionados con los efectos de la fragmentación, la teoría de la metacomunidad y abordar aspectos finos de las interrelaciones biológicas y diferentes procesos ecosistémicos, entre otros.

Las bromelias epífitas (principalmente las fitotelmata) son un ejemplo gráfico de microcosmos naturales, debido a características morfológicas como la superposición de las hojas, que permite la formación de receptáculos de almacenamiento de agua y detritos, lo que genera diferentes niveles de heterogeneidad de hábitats y, por tanto, que se pueda definir una gran variedad de interrelaciones y gradientes ecológicos, favoreciendo asociaciones de distinta índole con un gran número de organismos.

### ***1.3 Las plantas epífitas***

Como resultado de las adaptaciones de las diversas condiciones ambientales en que viven, las plantas han desarrollado algunas estrategias en las que se encuentran las diferentes formas de vida, por ejemplo, las que crecen en ambientes acuáticos reciben el nombre de hidrófitas; las que habitan en lugares muy húmedos son llamadas higrófitas; las que viven en suelos con altas concentraciones de sales son conocidas como halófitas; las que habitan en ambientes secos se denominan xerófitas, etcétera. Un caso especialmente interesante dentro de estas formas de vida vegetal es el de las epífitas, grupo de plantas que por diversas razones,

han abandonado el hábito terrestre y se han adaptado a vivir sobre otras plantas para obtener los recursos que necesitan para desarrollarse (Ceja *et al.*, 2008).

Las plantas epífitas contribuyen con el 10 % de la diversidad de plantas vasculares, cuyo centro de diversificación es el neotrópico (Benzing, 1990); desempeñan un papel muy importante en la dinámica de las comunidades terrestres, ya que al estratificarse verticalmente, desde los troncos de los árboles hasta las copas del dosel, ofrecen una gran variedad de nichos potenciales que pueden ser aprovechados por diversos grupos de animales (Ceja *et al.*, 2008), principalmente artrópodos.

Las epífitas vasculares son un componente importante de la biodiversidad tropical, particularmente en los neotropicos. Las regiones semiáridas de México son notorias porque son un centro de diversificación de especies de cactáceas y otras plantas suculentas, pero también tienen una alta riqueza en especies de tillandsias (García-Suárez *et al.*, 2003), siendo estas últimas objeto del presente estudio, principalmente las tillandsias fitotelmata o tillandsias de tanque. Estas plantas reciben tal nombre por su estructura de roseta que forma un tanque, lo que permite que pueda almacenar agua de lluvia y suelo, proveyendo una reserva de nutrientes y refugio para una gran variedad de invertebrados y pequeños vertebrados (Armbruster *et al.*, 2002).

#### ***1.4 Las plantas epífitas fitotelmata y su relación con los artrópodos***

Las múltiples relaciones que se establecen entre epífitas fitotelmata y artrópodos han sido objeto de estudio para diversos investigadores, siendo los ecosistemas templados y tropicales los más estudiados, lo que ha permitido obtener información sobre el grado de

interacción y efectos que tienen las epífitas sobre las poblaciones y comunidades de organismos que en ellas se establecen. También ha sido de interés la influencia que las fitotelmata tienen sobre la diversidad y abundancia de los artrópodos (Fig. 1) al incrementar la heterogeneidad arquitectónica y por tanto el espacio de nichos ecológicos para los animales que las colonizan (Castaño-Meneses, 2002).

De acuerdo con lo registrado por Richardson (1999), Armbruster *et al.* (2002), Castaño-Meneses (2002), Franco (2008) & Cruz-García *et al.* (2010), se ha visto que las condiciones de humedad y temperatura, entre otras, provocadas por la arquitectura de la epífita fitotelmata, además de los cambios producidos por el depósito de agua y suelo, así como cambios provocados por los artrópodos establecidos en la planta, tienen influencia en los cambios temporales de la composición y abundancia de las comunidades de artrópodos. La artropodofauna asociada a epífitas fitotelmata, de acuerdo con Frank y Lounibos (2008), podría aprovechar a las fitotelmata de cuatro posibles formas:

- i) Como un acuario para los insectos que tienen estadios larvarios acuáticos, y así completar su desarrollo hasta el estado adulto.
- ii) Como terrario para aquellos artrópodos que viven en el sustrato que se acumula en las axilas de sus hojas.
- iii) Como refugio, para esconderse de sus depredadores, poner sus huevos, mudar o proveerse de humedad y, por consiguiente, como lugar para que algunos depredadores consigan alimento.
- iv) Muchos artrópodos terrestres la utilizan como fuente de alimento directamente, es decir se alimentan de alguna parte de la planta.

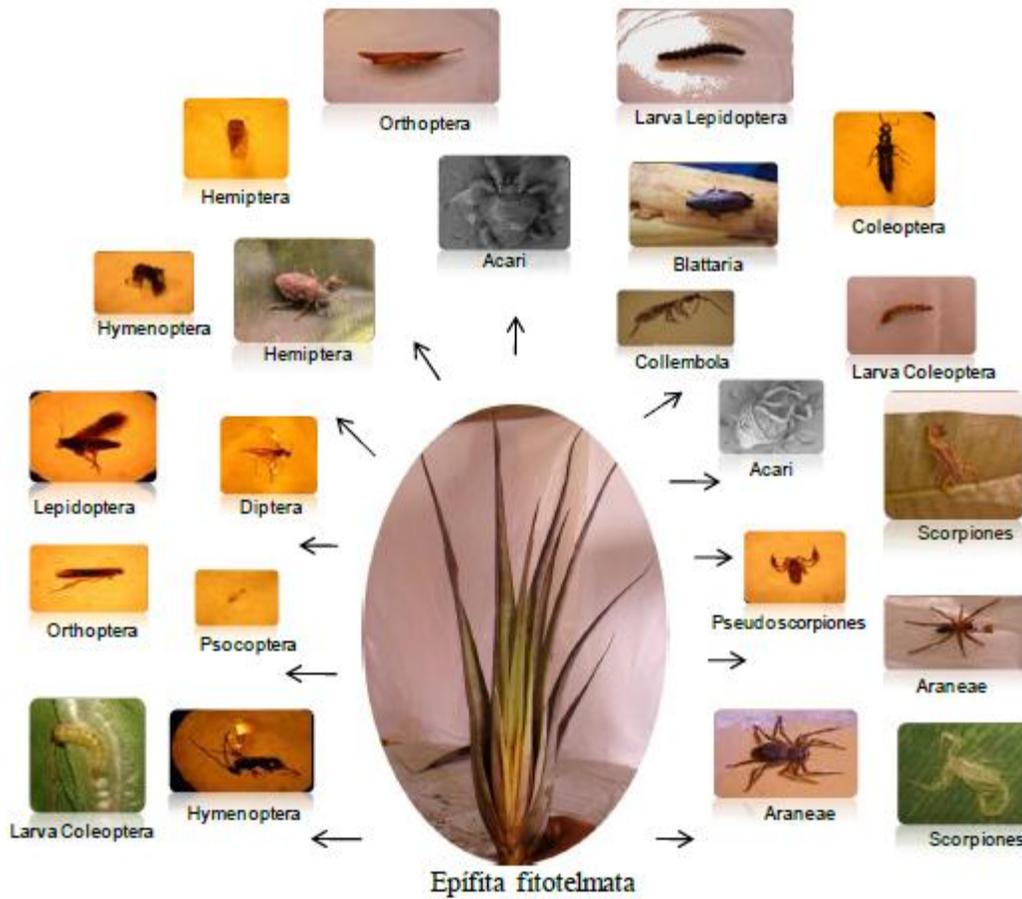


Figura 1.- Representación de algunos artrópodos que se pueden encontrar habitando dentro de una bromelia epífita de Zapotitlán, Puebla. (Fotos: Jesús Campos Serrano).

### 1.5 El uso de los sistemas artificiales para estudios ecológicos

Una forma de definir de qué manera los organismos que constituyen una comunidad están interactuando con su ambiente físico y biológico, y cuál es el resultado de estas interacciones, es usando sistemas experimentales donde se pueda tener un control adecuado de las variables independientes. Esto se puede lograr mediante el uso de sistemas artificiales denominados microcosmos artificiales, debido a la ventaja que presentan en cuanto a su tamaño y por lo tanto la manipulación de otras variables de importancia ecológica, como el

tiempo y las características de la estructura física del sustrato (Srivastava *et al.*, 2004). Los microcosmos artificiales son tan versátiles como los microcosmos naturales, y pueden llegar a ser tan complejos y biológicamente realistas como los sistemas naturales (Srivastava *et al.*, 2004). Por tanto, los sistemas artificiales constituyen excelentes medios para el estudio de los procesos de colonización y sucesión primaria, ya que carecen de una historia previa y a su vez pueden ser manipulados fácilmente en función de los objetivos planteados en la investigación (Velasco *et al.*, 1993). Los microcosmos se consideran como “aceleradores biológicos”, y se han utilizado para probar muchas teorías, como por ejemplo: la teoría de biogeografía de islas, el ensamblaje de especies o los patrones de sucesión y colonización (Drake *et al.*, 1996; Cruz-García *et al.*, 2010).

### **1.6 Las bromelias epífitas del valle de Zapotitlán**

En el valle de Zapotitlán existen varias especies de epífitas fitotelmata, principalmente del género *Tillandsia* como: *T. achyrostachys* Morren ex Baker, *T. atroviridipetala* Matuda, *T. circinatoides* Matuda, *T. califani* Rauh, *T. dasyliiriifolia* Baker, *T. hammeri* Rauh & Ehlers, *T. makoyana* Baker y *T. pueblensis* L. B. Sm., asociadas a ciertos tipos de forofitos, algunas con selección altamente específica y otras, como *T. recurvata* Baker, que puede establecerse en diferentes forofitos (Smith & Downs, 1977; Espejo-Serna *et al.*, 2004; García *et al.*, 2003 y García, 2007). Las especies de tillandsias mencionadas anteriormente, a excepción de *T. dasyliiriifolia* y *T. recurvata*, son endémicas de México (Espejo-Serna *et al.*, 2004).

## 2 ANTECEDENTES

En México, los primeros estudios realizados en relación a la presencia de fauna en epífitas fueron los de De Buen en 1953, quien enfatiza la importancia de éstas como criaderos naturales de mosquitos transmisores de paludismo (citado en Castaño-Meneses, 2002). Beutelspacher (1999), en la región de los Tuxtlas, Veracruz, formalizó la idea en México de que las bromelias epífitas y la fauna asociada constituyen ecosistemas con características particulares claramente definidas (Castaño-Meneses 2002), tomando como ejemplo *Aechmea bracteata* (Swartz) Griseb para hacer una descripción de su fauna asociada considerando que la bromelia mantiene un ecosistema dentro de sí misma. Winkler *et al.* (2005) estudiaron el efecto de la herbivoría en plantas epífitas como bromelias, orquídeas y helechos, esto en el bosque mesófilo de montaña de Xalapa. Otro trabajo realizado en Veracruz es el de Montes de Oca *et al.*, (2007) quienes estudiaron ensambles de carábidos asociados con bromelias, observaron que éstos usan las bromelias para reducir el estrés asociado con periodos de sequía. En la península de Yucatán se han realizado estudios sobre la distribución de la fauna en epífitas (Dejean *et al.*, 1995; Dejean & Olsmted, 1997 en Castaño-Meneses, 2002).

Para regiones templadas, Palacios-Vargas en 1981 estudió los colémbolos asociados a *Tillandsia* spp., en el derrame lávico del volcán Chichinautzin, en Morelos, mientras que Murillo *et al.*, en 1983, citan la presencia de distintos grupos de artrópodos en estas plantas en la misma localidad (Castaño-Meneses, 2002). Gutiérrez *et al.* (1993) estudiaron los artrópodos asociados a *Bromelia hemisphaerica* Lamarck 1783 en Yautepec, Morelos, caracterizando los nichos ecológicos de las especies encontradas. Palacios-Vargas y Castaño-Meneses (2002) estudian la diversidad de colémbolos asociados a *Tillandsia violacea* Baker y también

Castaño-Meneses en el mismo año, presenta un estudio sobre la estructura de la comunidad de artrópodos epífitos y su papel en el crecimiento de la misma tillandsia. López-Gómez *et al.* (2004), estudiaron el efecto de la altitud sobre la comunidad de invertebrados asociada a *T. violacea* en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. Mondragón-Chaparro *et al.* (2006) presentan un estudio sobre la riqueza de algunos grupos de artrópodos presentes en bromelias epífitas en bosques de Oaxaca. Franco (2008) determinó la riqueza de especies, abundancia y diversidad de macroartrópodos presentes en *T. carlos-hankii* Matuda y *T. oaxacana* L. B. Smith para un bosque de encino-Pino de Oaxaca, al igual que Mondragón & Cruz (2009), quienes determinaron la presencia del escorpión *Vaejovis franckei* en diez especies de tillandsias. Cruz-García *et al.* (2010) proporcionan una pequeña revisión bibliográfica sobre las bromelias como fitotelmata importantes, resaltando los diversos tipos de interacciones (planta-planta y planta-animal) que se pueden presentar dentro de una bromelia de tanque.

Para una región semiárida del trópico mexicano, Herrera-Fuentes *et al.* (2007) hicieron una comparación entre los patrones de diversidad, distribución y abundancia de comunidades de insectos asociados a *T. recurvata* L. y *Parkinsonia praecox* (Ruiz *et Pavón*) Hawkins., mientras que en 2008 Herrera-Fuentes *et al.*, estudiaron los patrones de variación espacial y temporal de artrópodos asociados a *T. dasyliriifolia* Baker, ámbos trabajos en el valle de Zapotitlán, Puebla.

Para el caso específico de los artrópodos del valle de Zapotitlán y en general en todo el valle de Tehuacán se han publicado algunos trabajos relacionados con la sistemática, sobre la descripción de especies nuevas, entre las que se encuentran *Asiopsocus tehuacanus* (García & Casasola, 1995); *Tetramorium notomelanum* sp. n (Hymenoptera: Formicidae) (Vásquez-

Bolaños *et al.* 2011); ecológicos, como de conducta y preferencias de forrajeo en hormigas (Guzmán-Mendoza y Castaño-Meneses 2007) y se ha destacado la importancia de la zona en términos de la diversidad y la riqueza de especies. En este sentido, Ríos-Casanova *et al.* (2004) y Guzmán-Mendoza *et al.* (2010), han encontrado que en cuanto a hormigas, el Valle de Tehuacán y en particular el Valle de Zapotitlán de las Salinas cuentan con una riqueza de especies por arriba de otras zonas áridas de México y el mundo y que posiblemente, el mismo patrón de riqueza, se refleje en otros grupos de artrópodos (Herrera-Fuentes *et al.* 2005). Otros Órdenes que han recibido particular atención, han sido los escarabajos y los hemípteros (Morón 1998 y Brailovsky *et al.* 1998) aunque con pocas referencias. Lo anterior muestra que aún falta por conocer aspectos biológicos y ecológicos que permitan entender la dinámica de comunidades de artrópodos de zonas áridas.

### 3 JUSTIFICACIÓN

Puesto que las plantas epifitas contribuyen con el 10% de la diversidad de plantas vasculares conocidas y, por su parte, los artrópodos constituyen el 85% de las especies animales descritas, éstos son dos grupos importantes y fundamentales para el estudio de la biodiversidad. Las fitotelmata son un sistema de estudio que proporciona una gran variedad de microambientes y gradientes ecológicos para las comunidades de animales que se establecen en ellas debido a su estructura, por lo cual representan un refugio, un lugar para alimentarse o para ovoposición y desarrollo del ciclo de vida de diversos organismos; también se distinguen por alojar una gran diversidad de flora y fauna. En particular para especies de *Tillandsia* se han registrado pequeños roedores, anfibios, reptiles, anélidos, crustáceos, moluscos, arácnidos

y diversos insectos (Flores, 1998). Esto hace a las epifitas fitotelmata son muy importantes ya que desempeñan un papel esencial porque favorecen la diversidad y abundancia de organismos asociados a ellas. Por otro lado, todos los trabajos realizados para describir las interacciones ecológicas dentro y fuera de estas plantas se han realizado específicamente en ambientes naturales, ya sea tropicales o templados. Así, esta es la primer propuesta para describir la dinámica interna de las comunidades de artrópodos en contenedores artificiales, que permiten el control de su tamaño y complejidad arquitectónica, y que permiten estudiar procesos naturales de colonización en una zona semiárida de México. Debido a la importancia ecológica que tienen las plantas epifitas fitotelmata, se considera que estudiarlas en zonas semiáridas tropicales contribuye al conocimiento de la dinámica de las comunidades de organismos que se establecen en ellas en este tipo de ecosistemas, considerando que el valle de Zapotitlán se encuentra dentro de una de las zonas áridas más importantes de nuestro país, el valle de Tehuacán, y que esa importancia está reflejada en términos de riqueza de especies de flora y fauna, y de complejas interacciones ecológicas poco entendidas (Ríos-Casanova *et al.*, 2004; Guzmán-Mendoza, 2007; Guzmán-Mendoza *et al.*, 2010).

#### **4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles son los cambios que se dan a lo largo de un ciclo anual, en la dinámica de las comunidades de artrópodos que colonizan las epífitas fitotelmata utilizando microcosmos artificiales?

#### **5 HIPÓTESIS**

- Si en ambientes naturales se ha visto que las condiciones de humedad, temperatura, etc., provocadas por la arquitectura de la planta, favorecen el establecimiento de comunidades de artrópodos se espera que en los artificiales, si se reproducen tales condiciones se observarán patrones similares de colonización.
- Los cambios medioambientales provocados por los primeros colonizadores, así como cambios producidos por la acumulación de agua, suelo y detritos en las epífitas artificiales estarán relacionados con cambios temporales en la composición y abundancia de las comunidades de artrópodos.
- Si la dinámica en las comunidades de artrópodos establecidas en las fitotelmata responde fundamentalmente a interacciones bióticas entre estos organismos, esperamos encontrar patrones temporales en la riqueza y diversidad de especies que serían similares entre las comunidades establecidas en epífitas artificiales y aquellas establecidas en las naturales.

- Si el establecimiento de diferentes especies de artrópodos está relacionado con la heterogeneidad arquitectónica de las fitotelmata, esperamos encontrar una relación más clara entre la riqueza y el número de hojas que con el tamaño de las plantas.

## **6 OBJETIVOS**

### **6.1 *Objetivo general***

Contribuir al conocimiento de la dinámica de las comunidades de artrópodos asociados a epífitas fitotelmata en regiones áridas tropicales.

### **6.2 *Objetivos particulares***

- Dar seguimiento a las variaciones del medio ambiente (suelo y agua captados en la roseta) que se crea en epífitas fitotelmata artificiales con diferentes tamaños y complejidad arquitectónica.
- Analizar los patrones de composición, abundancia, riqueza y diversidad a lo largo de un año en microcosmos artificiales y naturales.
- Analizar el efecto de la heterogeneidad arquitectónica de las fitotelmata en la riqueza de especies.

## 7 MÉTODOS

### 7.1 *Sitio de Estudio*

El área de estudio (Fig. 2) con una superficie aproximada de 413.89 km<sup>2</sup> y con un rango altitudinal que va de los 1280 a los 2720 msnm, se localiza en el valle de Zapotitlán, Puebla, que constituye una subcuenca (cuenca local) ubicada en el límite SO del valle de Tehuacán (18° 11'-18° 25' N, 97° 39'- 97° 22' W); en la zona semiárida Poblano-Oaxaqueña, situada en la sombra de lluvia de la Sierra Madre Oriental (Vite *et al.*, 1992) y forma parte de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

La vegetación corresponde al matorral xerófilo descrito por Rzedowski (1978) y presenta una gran variación, dependiendo del o los elementos fisonómicamente dominantes; como son las tetecheras de *Neobuxbaumia tetetzo* (Weber ex Schum) Backeberg, los izotales de *Yucca periculosa* Baker, o de *Beaucarnea gracilis* Lem., los cardonales de *Cephalocereus columna-trajani* (Karw) Schum, los cardonales de *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccobono, la selva baja espinosa perennifolia donde predomina *Prosopis laevigata* (H. & B.) Jonhst, la selva baja caducifolia donde predominan las familias Caesalpiniaceae, Fabaceae y Mimosaceae y diversos tipos de matorrales espinosos, inermes o parvifolios-esclerófilos (Zavala-Hurtado, 1982; Villaseñor *et al.*, 1990; Osorio *et al.*, 1996). El clima es cálido y semiárido del tipo BShw" (W)(e)(g), con lluvias en verano y presentándose una canícula bien definida a mitad del período de lluvias; con una precipitación promedio anual de 380-400 mm y una temperatura media anual de 18-22°C (Zavala-Hurtado *et al.*, 1996).

Existe una gran diversidad de afloramientos geológicos y tipos de suelo generalmente

someros, pedregosos y halomórficos con diferentes estados de alcalinidad y salinidad, entre los cuales sobresalen los Litosoles calcáreos rocosos y poco profundos que derivan primordialmente de rocas sedimentarias y metamórficas, los Cambisoles cálcicos, Rendzinas, Vertisoles, Regosoles, Fluvisoles cálcicos, y los Xerosoles cálcicos derivados de evaporitas. (Zavala-Hurtado, 1982; Osorio *et al.*, 1996).

El valle forma parte de la Cuenca Alta del Papaloapan, se encuentra irrigado por el río Zapotitlán, que junto con el río Tehuacán forman el río “El Salado”, uno de los principales afluentes del Papaloapan (Sandoval, 2010).

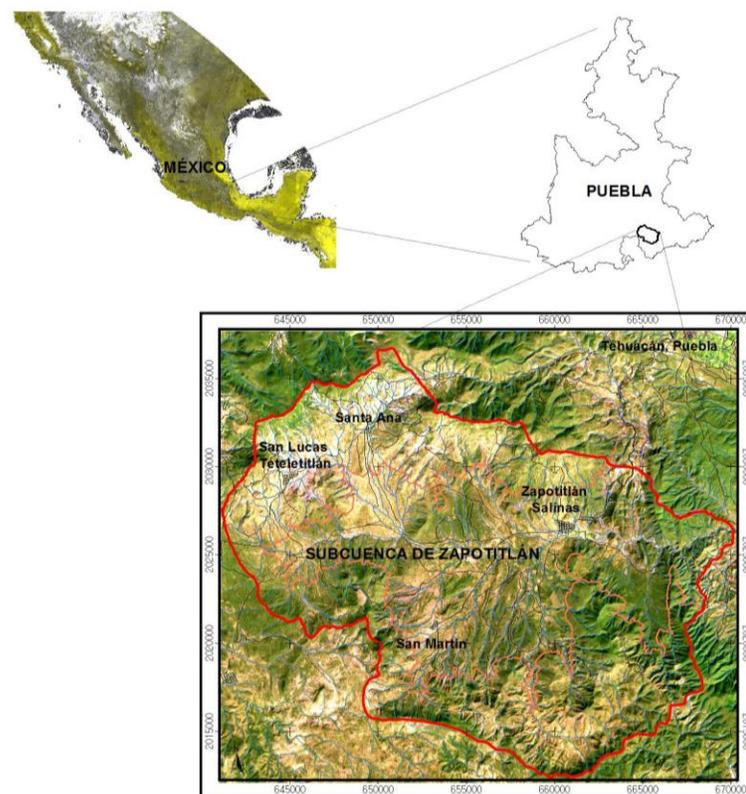


Fig. 2. Ubicación de la zona de estudio (Tomado de Sandoval, 2010).

## 7.2 Muestreo

### 7.2.1 Diseño Experimental

Se elaboraron 72 plantas artificiales tratando de semejar la arquitectura de una bromelia fitotelmata, tomando como referencia, a un nivel muy general, la morfología de *T. dasyliiriifolia* y *T. califani*. Las epífitas artificiales se elaboraron de hojas de tela plastificada, tomadas de plantas de plástico que comúnmente se vende para ornato, de 20 y 30 cm de longitud. Para simular el tanque, se utilizó la parte cónica de botellas de plástico de 300 y 600ml. (Fig. 3).



Fig. 3.- Ejemplo de una epífita artificial (izquierda) y su colocación sobre un árbol de *B. gracilis* en el sitio de estudio (derecha). En la fotografía de la izquierda se indica la presencia de un receptáculo interno, marcado con un contorno rojo.

Las variables morfométricas a manipular de la planta fueron tamaño (longitud de la planta; medida de la base de la planta a la punta de la hoja más larga) y número de hojas,

como un indicador de la heterogeneidad arquitectónica para los artrópodos. Así, se elaboraron plantas de dos tamaños diferentes (20 y 30 centímetros) y de cada tamaño tres variaciones en el número de hojas (10, 15 y 20 hojas); por lo que se manipularon seis tipos morfométricos. Cada tipo morfométrico tuvo tres réplicas, lo que dió un resultado de 18 plantas por tratamiento, y como se programaron muestreos cada tres meses a lo largo de un año, dando un total de cuatro, se utilizaron 72 plantas para todo el estudio.

Dentro del sitio de estudio, se seleccionaron al azar 27 individuos de *Beaucarnea gracilis* Lem. de al menos 2 metros de altura donde se colocaron las epífitas artificiales, cuidando ubicarlas, dentro de lo posible a una misma altura y, consistentemente, en el lado norte del árbol. La ubicación de las 72 epífitas artificiales fue registrada en un esquema cartesiano, construido a partir de coordenadas polares de la ubicación de cada individuo que permitiera su ubicación de manera clara. En el fondo de cada planta artificial se colocaron 20 g. de suelo estéril, proveniente de la misma localidad y 10 ml de agua como condiciones iniciales del sustrato.

### **7.2.2 *Recolecta de muestras y datos***

Cada tres meses, a partir de la ubicación inicial del experimento (31 de marzo del 2009), se extrajeron 18 plantas artificiales seleccionadas al azar y tres tillandsias naturales (*T. dasyliriifolia* que se encontraran sobre *B. gracilis*), para comparar la estructura de la comunidad de artrópodos en cada muestreo entre microcosmos naturales y artificiales, con lo que al final se obtuvieron cuatro muestreos de 21 plantas cada uno, a lo largo de un año (31 de marzo del 2009 al 31 de marzo del 2010).

Las plantas muestreadas fueron introducidas en bolsas de plástico y transportadas al laboratorio, para posteriormente ser disectadas, el suelo encontrado en las plantas se procesó en embudos de Berlese-Tullgren por 48 horas para extraer la fauna asociada. Los organismos se preservaron en alcohol al 70% para ser determinados y cuantificados. La determinación fue a nivel de “morfoespecie”, el cual no involucra una determinación a nivel de especie sino una separación de organismos basada en caracteres morfológicos que son observables fácilmente (Derraik *et al.*, 2002). Con estos datos se construyó una matriz de comunidades de **n** (84 plantas colectadas) por **s** (190 morfoespecies reconocidas). Esta matriz se estratificó de acuerdo a los tipos morfológicos de las plantas, a su condición de natural o artificial y a la época en que fueron colectadas.

En cada planta se registró la cantidad de agua retenida (en ml) utilizando una probeta de 100 ml y cantidad de suelo acumulado (en gr), pesándolo en una balanza granataria Ohaus GT4800. Estos datos sólo se registraron para las plantas artificiales.

### **7.3 Análisis**

Las comunidades de artrópodos en las fitotelmata fueron caracterizadas en cuanto a su composición al nivel taxonómico de Orden y también al nivel fisonómico de morfoespecie. Cada una de estas entidades fue caracterizada por su presencia o ausencia y su abundancia (número de individuos) y frecuencia de aparición. Las comunidades también fueron caracterizadas a partir de la estimación de la diversidad de morfoespecies por medio del índice de Shannon-Wiener (Ramírez, 2006).

$$H' = -\sum [p_i \ln p_i]$$

Donde:  $p_i = n_i/N$

$n_i$  = número de individuos de la morfoespecie  $i$

$N$  = número total de individuos de cada muestra

Para evaluar posibles diferencias significativas entre los muestreos con respecto a su diversidad, se utilizó una prueba de  $t$ -student modificada (Magurran, 1988), utilizando la corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples.

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{(\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^{1/2}}$$

Donde:  $H'_1$  = es la diversidad de la muestra 1

$H'_2$  = es la diversidad de la muestra 2

$\text{Var } H'_1$  = es la varianza de la muestra 1

$\text{Var } H'_2$  = es la varianza de la muestra 2

La varianza de  $H'$  se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Var } H' = \frac{\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} + \frac{S - 1}{2N^2}$$

Los grados de libertad se calculan utilizando la ecuación:

$$df = \frac{(\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^2}{[(\text{Var } H'_1)^2 / N_1] + [(\text{Var } H'_2)^2 / N_2]}$$

Se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis con el programa estadístico NCSS (Hintze, 2007) para determinar si existieron cambios en las condiciones ambientales de suelo y agua en los cuatro muestreos para las plantas artificiales.

Se realizaron análisis de ordenación indirectos (Análisis de Componentes Principales, ACP), para explorar los patrones de distribución de las comunidades de artrópodos entre los diferentes tipos morfométricos de plantas y a lo largo del muestreo temporal. Los ACP fueron realizados sobre la matriz de abundancia de las morfoespecies utilizando la matriz de varianza-covarianza (no estandarizado) y doble centrado (por unidades de muestreo y especies), usando el paquete de análisis multivariado MVSP v.3.12 (Kovach Computing Services, 2004). También se analizaron patrones de composición, abundancia y diversidad de artrópodos a lo largo del tiempo, comparando estadísticamente composición, abundancias absolutas y jerarquías de abundancia (Rahel, 1990) entre los cuatro muestreos temporales y los dos tamaños y tres condiciones de heterogeneidad arquitectónica utilizando el programa estadístico XLSTAT 2011 (Addinsoft, 2011).

Se evaluaron los cambios en la estructura de las comunidades en los cuatro muestreos utilizando tres niveles jerárquicos de escala analítica (Rahel, 1990):

i) Análisis al nivel de abundancia absoluta de las especies.

Se usó un análisis de tablas de contingencia de  $r \times c$ , aplicando una prueba  $\chi^2$ , donde  $r$  es el número de especies y  $c$  el número de períodos de tiempo comparados (en este caso dos). Se contrastó la hipótesis nula de que las abundancias absolutas de las morfoespecies son independientes del tiempo de muestreo (Sokal & Rohlf, 2001; Rahel, 1990).

ii) Análisis al nivel de jerarquías de abundancia.

Las morfoespecies se ordenaron de acuerdo a su abundancia relativa en cada muestra para determinar si esta jerarquía permanece estable en el tiempo, aún si fluctúan las abundancias absolutas. Para comparar la similitud entre las jerarquías de abundancia a través del tiempo, se utilizó el coeficiente de concordancia de Kendall (W), una prueba no paramétrica de correlación multimuestral. Los valores de W varían entre cero (las jerarquías de abundancia son totalmente diferentes entre los tiempos comparados) y uno (cuando hay una concordancia completa entre las jerarquías de abundancia comparadas). La hipótesis nula es que las jerarquías de abundancia no están correlacionadas a través del tiempo (Sokal & Rohlf, 2001; Zar, 1999; Rahel, 1990).

Coeficiente de concordancia de Kendall (W)

$$W = \frac{X^2}{K(n-1)}$$

$$\text{Donde } X^2 = \frac{12}{K n (n+1)} \sum R^2 - 3K(n+1)$$

K = el número de variables

n = el número de mediciones por variable

R = suma del rango

iii) Análisis al nivel de presencia-ausencia de las especies.

Para evaluar la similitud de las comunidades de artrópodos entre los muestreos temporales realizados se aplicó el coeficiente de similitud de Jaccard. Este coeficiente es igual a 1 cuando los muestreos comparados comparten las mismas morfoespecies, y por el contrario valores cercanos o iguales a cero indican que las morfoespecies son diferentes. Para ello se

diseño una matriz de datos binarios (presencia/ausencia) de las morfoespecies encontradas en los sitios de muestreo. La matriz está compuesta por datos acotados de 0 (cero) a 1 (uno). La hipótesis nula es que los muestreos no son diferentes en la composición de especies.

Coeficiente de similitud de Jaccard (Ramírez, 2006)

$$J = \frac{a}{a + b + c}$$

Donde:

a = número de morfoespecies presentes en las dos muestras comparadas.

b= número de morfoespecies presentes en la primera muestra a comparar, pero no en la segunda.

c= número de morfoespecies presentes en la segunda muestra a comparar, pero no en la primera.

## 8 RESULTADOS

### 8.1 Frecuencia de órdenes

De las 72 artificiales colocadas en el sitio de estudio se recuperaron 66, en las cuales se registraron 8788 organismos distribuidos en 16 órdenes de artrópodos, 8234 se colectaron en plantas naturales y 554 en plantas artificiales (Tabla 1).

	TIPO DE PLANTAS	NATURALES				Tot.	ARTIFICIALES				Tot.	TOTAL
		I	II	III	IV		I	II	III	IV		
	MUESTREO No.											
	Días transcurridos	106	196	294	365		106	196	294	365		
	Plantas colectadas	3	3	3	3		18	18	15	15		
	ÓRDENES					Tot.					Tot.	
1	Scorpionida (Scor)	0	0	0	0	0	2	0	1	2	5	5
2	Araneae (Ara)	7	13	18	21	59	62	31	33	157	283	342
3	Acari (Aca)	23	29	71	3	126	18	21	52	26	117	243
4	Pseudoscorpionida (Pseu)	0	0	2	2	4	1	1	0	2	4	8
5	Collembola (Colle)	1	24	29	19	73	2	17	1	6	26	99
6	Thysanura (Thysura)	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	2
7	Orthoptera (Ort)	2	1	7	5	15	0	4	1	1	6	21
8	Blattaria (Bla)	0	2	0	0	2	0	0	1	0	1	3
9	Psocoptera (Pso)	2	14	7	9	32	3	3	20	11	37	69
10	Hemiptera (Hemi)	6	34	7	364	411	1	7	3	2	13	424
11	Thysanoptera (Thysera)	2	2	6	11	21	0	3	0	0	3	24
12	Coleoptera (Col)	7	6461	13	39	6520	1	3	6	0	10	6530
13	Diptera (Dip)	43	548	81	36	708	2	9	1	0	12	720
14	Trichoptera (Tri)	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
15	Lepidoptera (Lep)	25	13	7	19	64	2	0	3	0	5	69
16	Hymenoptera (Hym)	4	12	66	87	169	2	9	0	1	12	181
17	N. D.	0	1	26	0	27	10	3	6	0	19	46
	Individuos totales	124	7155	340	615	8234	106	112	128	208	554	8788
	Número de órdenes	13	14	13	13	15	11	13	13	10	15	16
	Morfoespecies	47	73	52	47	149	24	48	35	22	80	190

Tabla 1. Número de individuos registrados por orden de artrópodos encontrados en los cuatro muestreos realizados. Los días transcurridos son los días que permanecieron las plantas artificiales en el sitio de estudio.

Con sombra gris se resaltan los valores de mayor abundancia para cada muestreo. N. D. se refiere a los organismos que no se lograron determinar.

A lo largo de los cuatro muestreos realizados, en plantas artificiales los tres órdenes que tuvieron una mayor abundancia fueron Araneae, Acari y Psocoptera, mientras que para

plantas naturales fueron Diptera y Acari; cabe resaltar que el orden Coleoptera resultó tener una mayor abundancia pero únicamente en el segundo muestreo y Hemiptera también fue muy abundante pero sólo en el cuarto muestreo (Fig. 4).

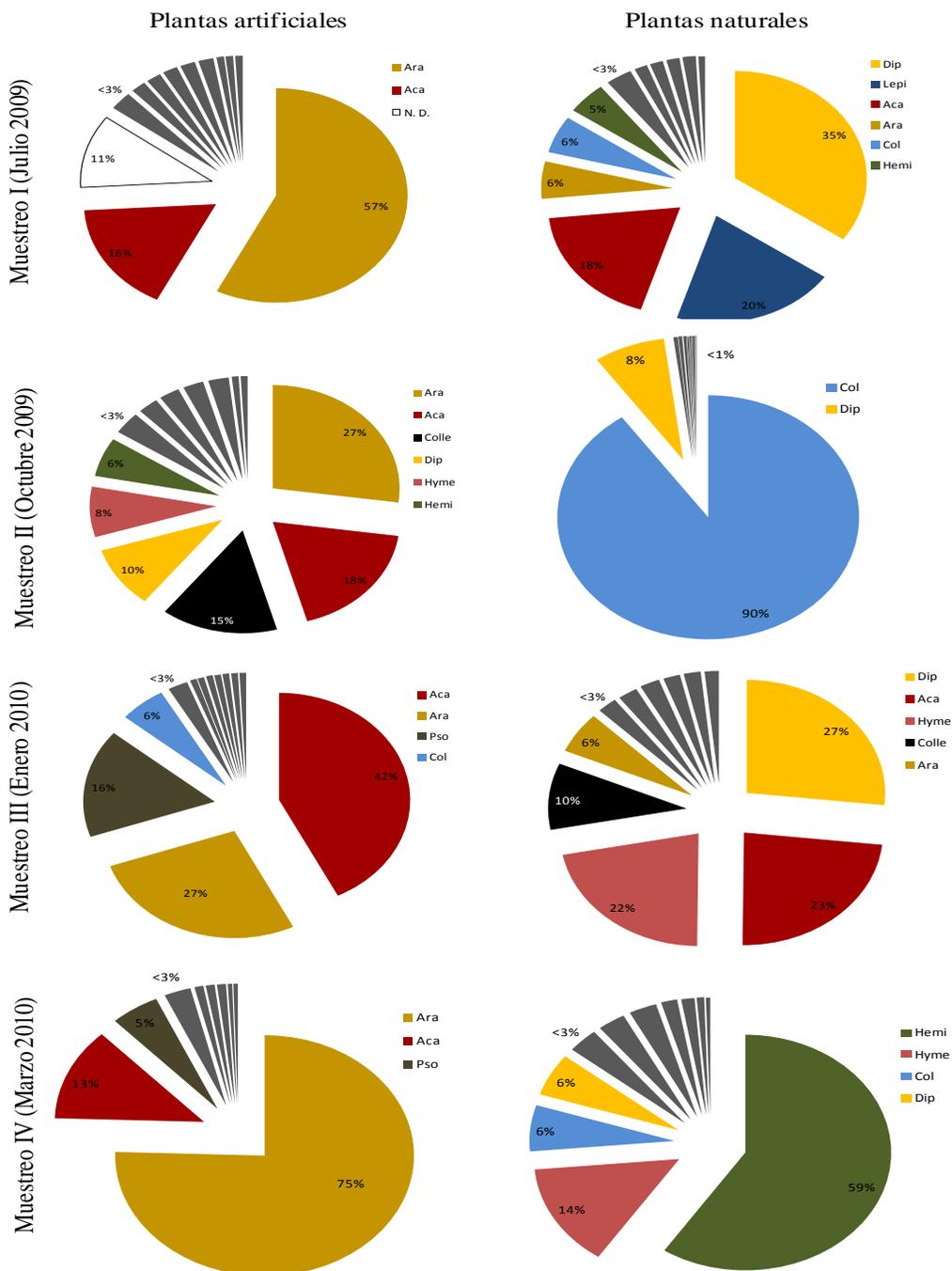


Fig. 4. Proporción de órdenes encontrados en ambientes naturales y artificiales. Ver abrev. en Tabla 1.

## 8.2 Diversidad

Los resultados indican un valor de diversidad mayor en plantas artificiales ( $H' = 3.34$  para 48 morfoespecies) en el segundo muestreo durante la época de lluvias y un valor menor ( $H' = 1.94$  para 22 morfoespecies) en el cuarto muestreo durante la época de secas. Para el caso de las plantas naturales, la mayor diversidad ( $H' = 3.4$  para 47 morfoespecies) se presentó en el primer muestreo en la temporada de lluvias y la más baja ( $H' = 0.51$  para 73 morfoespecies) se presentó en el segundo muestreo en la misma temporada, que además fue el muestreo con mayor número de órdenes (13) y morfoespecies (73), y también fue el que presentó el mayor número de individuos de un solo orden (6,461 coleópteros), es por eso que la diversidad resultó ser tan baja (Tabla 2).

Muestreo No.	I		II		III		IV	
Epoca	Lluvias		Lluvias		Secas		Secas	
Tipo de Planta	Natural	Artificial	Natural	Artificial	Natural	Artificial	Natural	Artificial
Plantas Colectadas	3	18	3	18	3	15	3	15
Artrópodos encontrados	124	106	7155	112	340	128	615	208
Órdenes presentes	12	11	13	12	12	12	12	9
Morfoespecies	47	24	73	48	52	35	47	22
Diversidad ( $H'$ )	3.4	1.95	0.51	3.34	2.78	2.71	1.85	1.94
Diversidad Ch-10 hojas ( $H'$ )	0		0.23		0.78		0.89	
Diversidad Ch-15 hojas ( $H'$ )	0.42		1.5		0.85		0.41	
Diversidad Ch-20 hojas ( $H'$ )	0.75		0.6		1.03		0.56	
Diversidad G-10 hojas ( $H'$ )	0.95		1.19		1.46		0.53	
Diversidad G-15 hojas ( $H'$ )	0.31		1.57		1.78		0.33	
Diversidad G-20 hojas ( $H'$ )	0.95		1.23		1.34		1.05	

Tabla 2. Abundancia de artrópodos, órdenes y morfoespecies presentes, y promedios de diversidad de morfoespecies para cada muestreo. Ch = plantas chicas y G = plantas grandes.

Al hacer las comparaciones de la diversidad entre los diferentes muestreos se encontró que sólo para el muestreo I y IV ( $t_{0.008, 203} = 0.06$ ,  $p > 0.05$ , de plantas artificiales, no hubo

diferencias significativas entre la diversidad de morfoespecies de artrópodos, mientras que para el resto de las comparaciones, los valores fueron significativamente diferentes (Tabla 3).

Tipo de planta	Natural				Artificial			
Muestreo	I	II	III	IV	I	II	III	IV
<b>I</b>	-	31.3	5.3	13.2	-	8.49	4.39	<b>0.06</b>
<b>II</b>		-	30.2	17.8		-	5.08	11.9
<b>III</b>			-	8.9			-	5.9
<b>IV</b>				-				-

Tabla 3. Valor de *t* para la comparación entre los valores de diversidad de morfoespecies registradas en los cuatro muestreos. Muestreos I y II corresponden a la época de lluvias y III y IV a la temporada de secas.

En cuanto a la diversidad para cada tipo morfométrico de plantas artificiales (tamaño y número de hojas), parece no haber relación entre los valores de índice de Shannon y el tamaño o la estructura de la planta, aunque es claro que la diversidad es menor en el muestreo I (Fig. 8). Por otro lado, en algunos casos sí se encontraron diferencias significativas entre los valores de diversidad obtenidos entre los diferentes tipos morfométricos (Fig. 5).

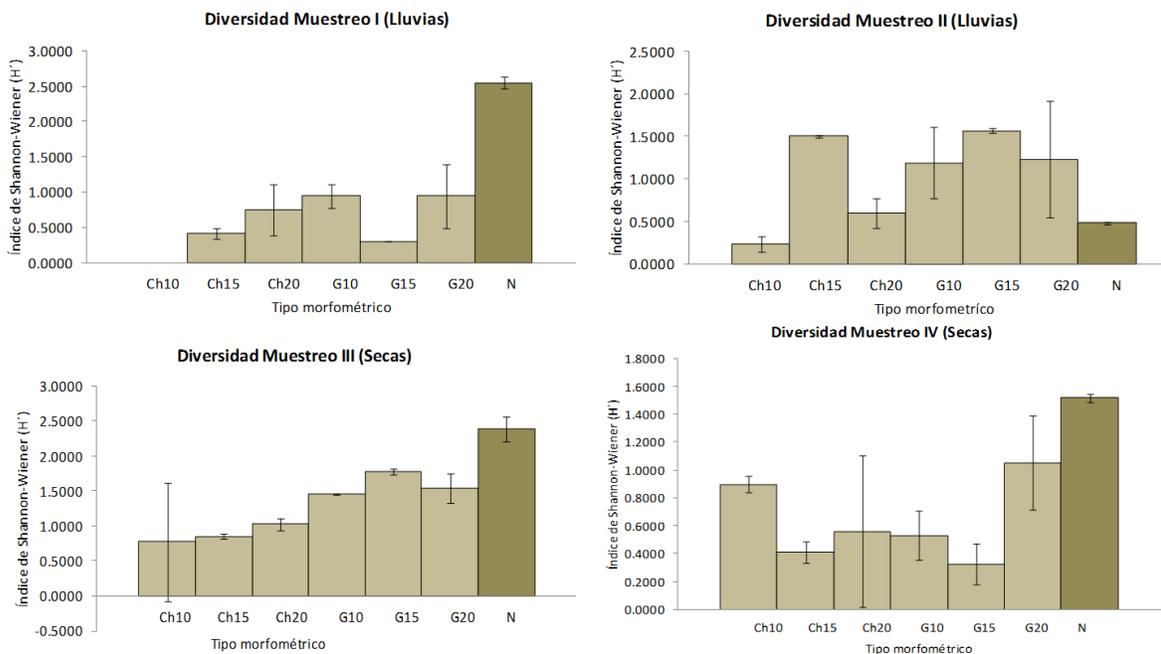


Fig.5. Patrones de variación de la diversidad con respecto al tipo morfométrico de las plantas artificiales. Ch = plantas chicas / G = plantas grandes N = plantas naturales / 10, 15 y 20 = número de hojas.

Tipo morfométrico	Muestreo I						Muestreo II						Muestreo III						Muestreo IV						
	Ch-10	Ch-15	Ch-20	G-10	G-15	G-20	Ch-10	Ch-15	Ch-20	G-10	G-15	G-20	Ch-10	Ch-15	Ch-20	G-10	G-15	G-20	Ch-10	Ch-15	Ch-20	G-10	G-15	G-20	
Muestreo I	Ch-10	-	13.31	5.13	2.62	15.00	2.70	<b>0.29</b>	<b>1.73</b>	6.77	3.50	3.03	21.34	3.55	7.66	4.39	3.82	2.73	4.57	3.29	15.66	3.91	3.24	3.05	4.70
	Ch-15		-	<b>1.73</b>	<b>1.57</b>	8.66	2.15	12.67	<b>1.27</b>	<b>0.13</b>	<b>0.67</b>	<b>0.14</b>	12.35	3.83	<b>0.36</b>	<b>0.45</b>	<b>0.41</b>	<b>1.46</b>	<b>0.06</b>	7.86	2.65	3.12	<b>0.30</b>	<b>0.59</b>	<b>0.65</b>
	Ch-20			-	<b>0.44</b>	8.15	<b>0.78</b>	5.17	<b>0.47</b>	<b>1.23</b>	<b>1.32</b>	<b>0.82</b>	10.14	<b>1.46</b>	2.48	<b>1.31</b>	<b>1.18</b>	<b>0.34</b>	<b>0.97</b>	<b>0.70</b>	<b>0.66</b>	<b>1.02</b>	<b>0.99</b>	<b>0.31</b>	<b>0.59</b>
	G-10				-	10.29	<b>0.23</b>	2.69	<b>0.12</b>	<b>1.32</b>	<b>1.46</b>	<b>1.02</b>	7.34	<b>0.57</b>	2.26	<b>1.44</b>	<b>1.34</b>	<b>0.08</b>	<b>1.16</b>	<b>1.41</b>	<b>0.90</b>	<b>0.28</b>	<b>1.17</b>	<b>0.60</b>	<b>0.86</b>
	G-15					-	14.66	14.91	6.35	7.01	3.77	4.49	<b>0.44</b>	9.83	34.80	6.66	5.31	10.10	10.00	12.65	12.03	9.23	4.38	7.15	16.40
	G-20						-	2.77	<b>0.06</b>	<b>1.76</b>	<b>1.70</b>	<b>1.24</b>	8.60	<b>0.34</b>	2.78	<b>1.75</b>	<b>1.61</b>	<b>0.31</b>	<b>1.49</b>	<b>1.29</b>	<b>1.40</b>	<b>0.02</b>	<b>1.40</b>	<b>0.84</b>	<b>1.20</b>
Muestreo II	Ch-10						-	<b>1.79</b>	6.78	3.55	3.07	20.88	3.63	7.67	4.44	3.88	2.80	4.63	3.35	14.08	3.97	3.29	3.11	4.75	
	Ch-15							-	<b>1.14</b>	<b>1.38</b>	<b>0.99</b>	5.58	<b>0.29</b>	<b>1.88</b>	<b>1.31</b>	<b>1.25</b>	<b>0.18</b>	<b>1.05</b>	<b>0.87</b>	<b>0.79</b>	<b>0.07</b>	<b>1.12</b>	<b>0.61</b>	<b>0.80</b>	
	Ch-20								-	<b>0.68</b>	<b>0.18</b>	8.78	2.74	<b>1.35</b>	<b>0.47</b>	<b>0.44</b>	<b>1.22</b>	<b>0.03</b>	4.54	<b>1.05</b>	2.26	<b>0.34</b>	<b>0.48</b>	<b>0.45</b>	
	G-10									-	<b>0.39</b>	3.46	<b>2.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.29</b>	<b>0.26</b>	<b>1.40</b>	<b>0.61</b>	2.68	<b>1.15</b>	<b>1.84</b>	<b>0.27</b>	<b>0.91</b>	<b>0.91</b>	
	G-15										-	4.06	<b>1.57</b>	<b>0.57</b>	<b>0.16</b>	<b>0.17</b>	<b>0.96</b>	<b>0.15</b>	2.19	<b>0.62</b>	<b>1.35</b>	<b>0.12</b>	<b>0.48</b>	<b>0.44</b>	
	G-20											-	12.37	6.53	5.12	4.48	7.22	6.43	17.32	15.22	11.48	3.95	5.75	7.75	
Muestreo III	Ch-10												-	3.92	2.30	2.06	<b>0.67</b>	2.10	<b>1.35</b>	2.85	<b>0.42</b>	<b>1.75</b>	<b>1.22</b>	<b>1.84</b>	
	Ch-15													-	<b>0.50</b>	<b>0.42</b>	2.17	<b>1.04</b>	5.67	2.68	3.46	<b>0.42</b>	<b>1.36</b>	<b>1.60</b>	
	Ch-20														-	<b>0.02</b>	<b>1.36</b>	<b>0.39</b>	3.21	<b>1.12</b>	<b>2.00</b>	<b>0.03</b>	<b>0.76</b>	<b>0.77</b>	
	G-10															-	<b>1.27</b>	<b>0.38</b>	2.82	<b>0.99</b>	<b>1.80</b>	<b>0.04</b>	<b>0.72</b>	<b>0.71</b>	
	G-15																-	<b>1.07</b>	<b>1.51</b>	<b>0.79</b>	<b>0.37</b>	<b>1.11</b>	<b>0.52</b>	<b>0.77</b>	
	G-20																	-	3.18	<b>0.72</b>	<b>1.76</b>	<b>0.29</b>	<b>0.44</b>	<b>0.39</b>	
Muestreo IV	Ch-10																		-	7.43	<b>1.79</b>	2.38	<b>1.99</b>	3.08	
	Ch-15																			-	2.12	<b>0.80</b>	<b>0.01</b>	<b>0.23</b>	
	Ch-20																				-	<b>1.53</b>	<b>0.95</b>	<b>1.47</b>	
	G-10																					-	<b>0.62</b>	<b>0.59</b>	
	G-15																						-	<b>1.25</b>	
	G-20																							-	

Tabla 4. Valor de t para la comparación entre los valores de diversidad de cada tipo morfométrico de los cuatro muestreos, los valores resaltados indican que no hay diferencias significativas entre la diversidad.

### 8.3 Cambios en las condiciones microambientales en plantas artificiales

Durante la permanencia de las plantas modelo en el sitio de estudio, las condiciones microambientales dentro de las plantas cambiaron debido a la colonización por los artrópodos, a variaciones en cantidad de sustrato y cambios en humedad producidos por la captación y retención de agua de lluvia, dichos cambios se pueden observar en la Tabla 5.

<b>Muestreo # 1</b>																		
Planta #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tamaño (cm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30
# Hojas	10	10	10	15	15	15	20	20	20	10	10	10	15	15	15	20	20	20
Can. de Agua (ml)	H	5.00	H	10.00	H	45.00	0.00	0.00	H	25.00	0.00	23.00	H	0.00	0.00	H	0.00	0.00
Can. de Suelo (gr.)	14.8	20.40	16.5	21.6	21.7	15.9	20.9	17.8	19.7	20.5	1.13	14.3	24.1	22	23.8	21.8	20	18.2
<b>Muestreo # 2</b>																		
Planta #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tamaño (cm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30
# Hojas	10	10	10	15	15	15	20	20	20	10	10	10	15	15	15	20	20	20
Can. de Agua (ml)	H	H	0.00	0.00	0.00	0.00	H	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	H	0.00	0.00	0.00	H	H
Can. de Suelo (gr.)	15.9	22.3	22.3	19.5	17.90	16.50	23	19.8	25.60	4.13	20.3	8.42	19.6	16.4	14.1	5.75	18.9	20.9
<b>Muestreo # 3</b>																		
Planta #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tamaño (cm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30
# Hojas	10	10	10	15	15	15	20	20	20	10	10	10	15	15	15	20	20	20
Can. de Agua (ml)	0.00	0.00	-----	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	H	0.00	-----	H	H	-----	0.00	0.00
Can. de Suelo (gr.)	13.1	16	-----	3.59	9.03	22.6	19	2.53	21.1	18	22.8	14.9	-----	9.46	22.4	-----	22	16.8
<b>Muestreo # 4</b>																		
Planta #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tamaño (cm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30
# Hojas	10	10	10	15	15	15	20	20	20	10	10	10	15	15	15	20	20	20
Can. de Agua (ml)	-----	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----	0.00	0.00	0.00	-----
Can. de Suelo (gr.)	-----	7.84	6.51	2.02	2.23	2.02	2.77	2.64	4.28	5.9	1.8	0.26	3.33	-----	0.22	1.77	8.05	-----

Tabla 5. Cambios en el microambiente de las plantas modelo dados por variaciones en cantidad de sustrato y captación de agua, H = sustrato húmedo, la línea discontinua indica datos no recabados debido al extravío de las plantas.

Como se mencionó en los métodos, al inicio del experimento se le colocaron a las plantas artificiales 20 gr. de suelo estéril y 10 ml. de agua destilada, condiciones que fueron cambiando con el tiempo, se observó que en la mayoría de las plantas no se registró la presencia de agua y que en casi todos los casos la cantidad de suelo (Fig. 6) se perdió

significativamente. El análisis de Kruskal-Wallis indico que existen diferencias significativas de cantidad de agua y suelo entre los muestreos ( $H_{\text{agua}} = 10.76$  g.l.= 3  $p = 0.013$  /  $H_{\text{suelo}} = 29.17$  g.l. = 3  $p < 0.001$ ).

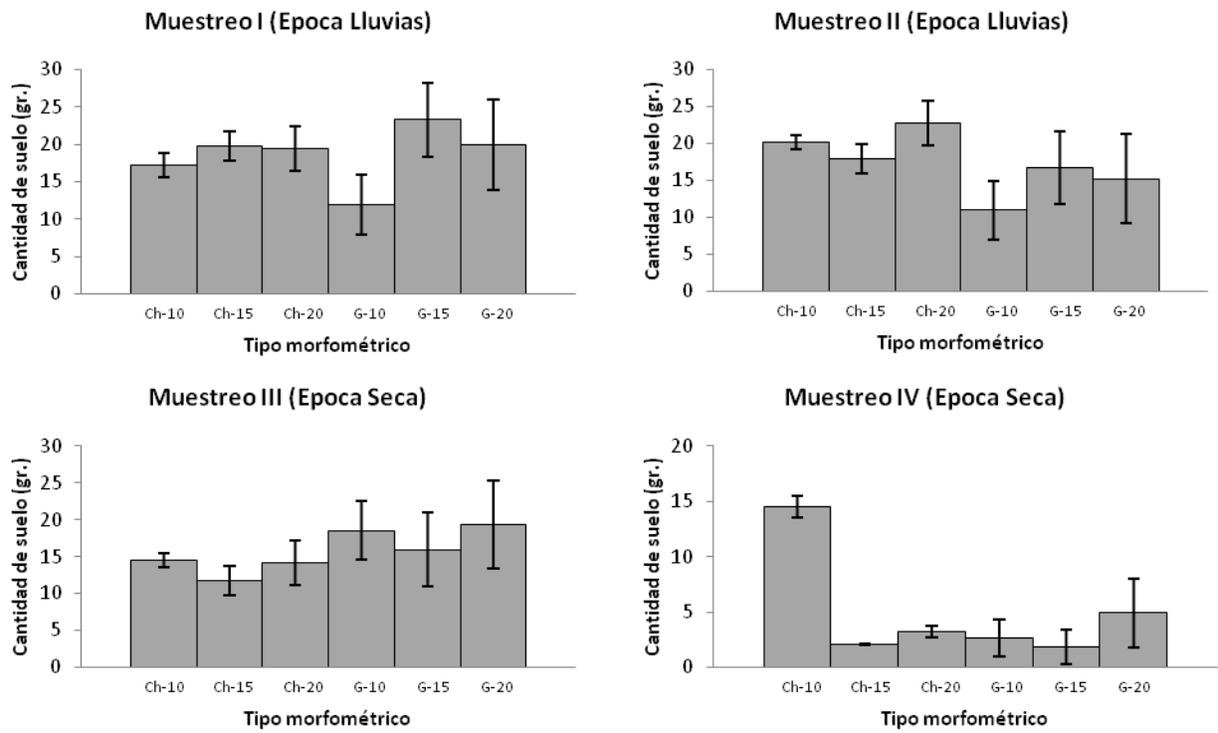


Fig. 6. Representación del cambio en la cantidad de suelo de las epifitas artificiales.

#### 8.4 Patrones de variación espacio-temporal de las comunidades de artrópodos

El Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado con las matrices de abundancias de las morfoespecies mostró que nuestro modelo no sigue un patrón de agrupamiento con respecto a los morfotipos ni a la época en la cual se realizaron los muestreos. Los agrupamientos que se pueden observar en la Fig. 7 (Muestreo I y II, realizados en la época de lluvias) y Fig. 8 (Muestreo III y IV, realizado en la época seca) están formados por plantas de diferentes tamaños, con distinta complejidad estructural y que fueron colectadas en distintos muestreos, en función de la composición y abundancia de las especies de artrópodos presentes. Esto indica que la formación de los grupos responde a factores ajenos a la morfología de la planta artificial.

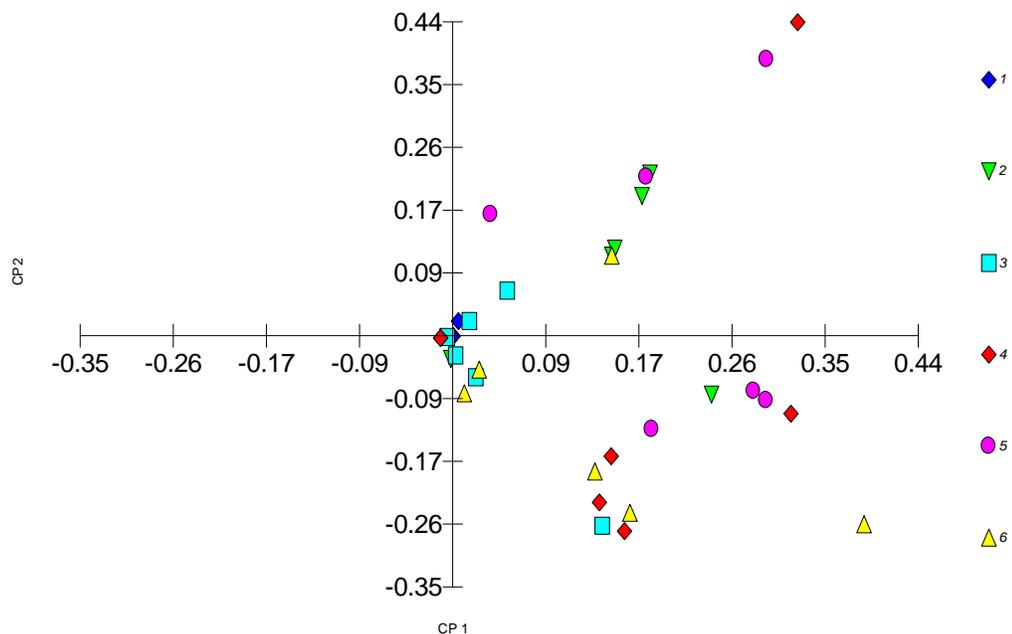


Fig. 7. Ordenación de las plantas artificiales correspondiente a los dos muestreos realizados en la época de lluvias. Cada etiqueta indica el tipo morfológico, siendo el 1 el de menor complejidad (Ch-10) y 6 el de mayor (G-20). El CP1 explica el 18.3 % de la variabilidad (eigenvalor = 0.099) y el CP2 explica el 11 % de la variabilidad (eigenvalor = 0.060).

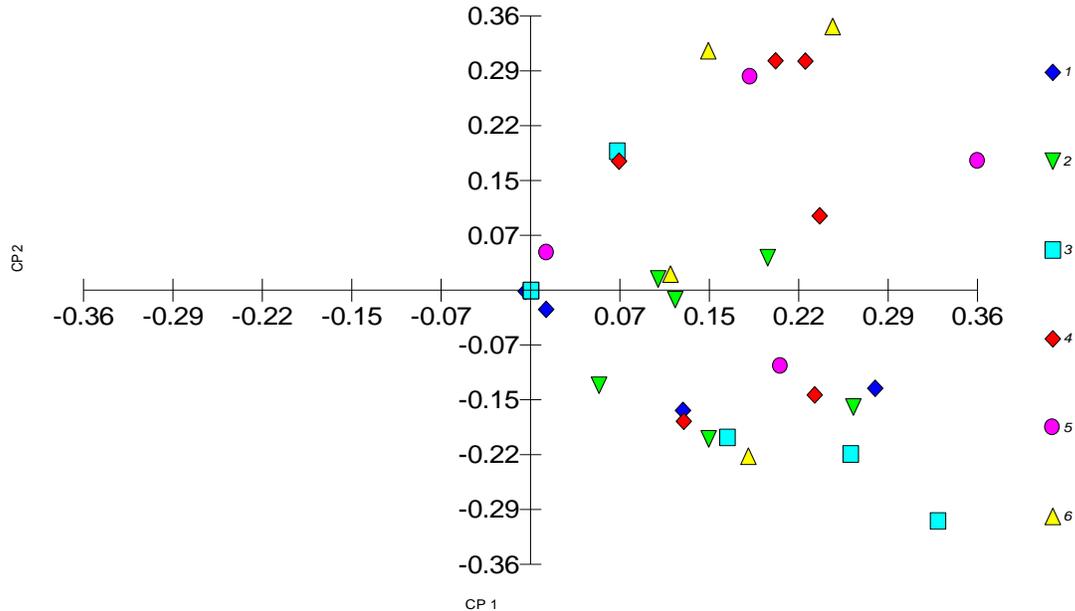


Fig. 8. Ordenación de las plantas artificiales correspondiente a los dos muestreos realizados en la época de secas. Cada etiqueta indica el tipo morfométrico, siendo el 1 el de menor complejidad (Ch-10) y 6 el de mayor (G-20). El CP1 explica el 25.7 % de la variabilidad (eigenvalor = 0.134) y el CP2 explica el 13.12 % de la variabilidad (eigenvalor = 0.068).

También se realizó un ACP con los datos obtenidos pero por cada uno de los muestreos, la dispersión de los puntos para cada una de las graficas (Fig. 9 “Muestreo I”, Fig. 10 “Muestreo II”, Fig.11 “Muestreo III” y Fig.12 “Muestreo IV”) indica que de acuerdo a la composición de morfoespecies que se presentó en cada muestreo, el comportamiento de la comunidad de artrópodos fue diferente y mostró cambios que no estuvieron relacionados con la complejidad estructural de las plantas, situación que también se pudo observar en la Fig.5 con los índices de diversidad que resultaron ser diferentes a lo largo de los cuatro muestreos; esta diferencia no mostró un patrón de asociación con los tipos morfométricos de las plantas artificiales.

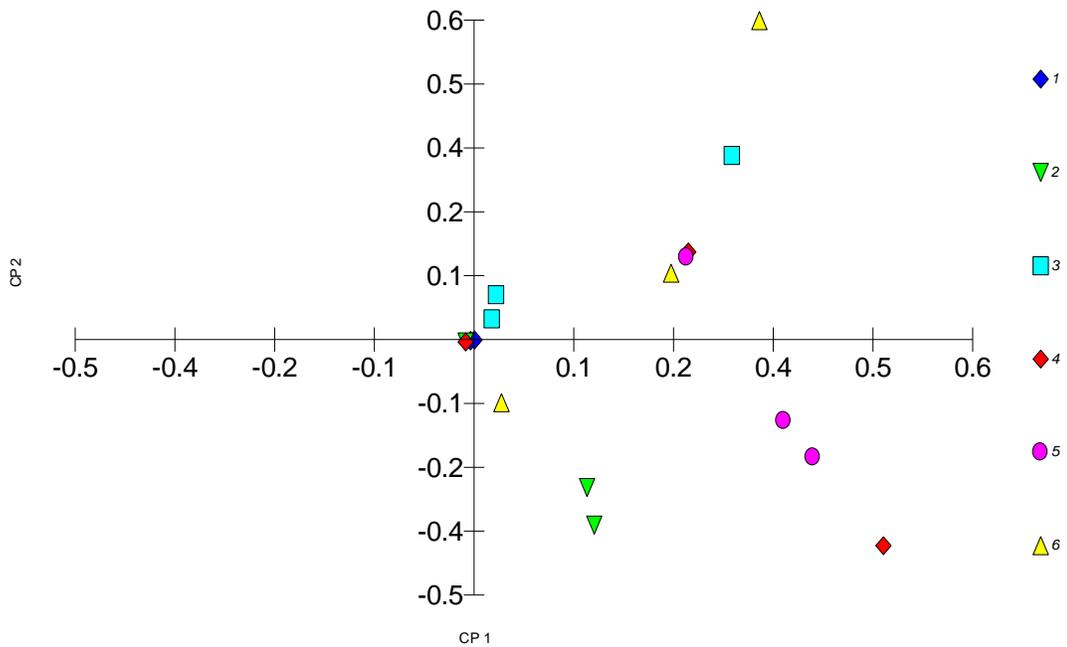


Fig. 9. Ordenación de las plantas artificiales del Muestreo I de acuerdo a su tamaño, cada etiqueta indica el tipo morfométrico, siendo 1 el de menor complejidad (Ch-10) y 6 el de mayor (G-20). El CP1 explica el 29.7 % de la variabilidad (eigemvalor = 0.059) y el CP2 explica el 13.39 % de la variabilidad (eigemvalor = 0.027).

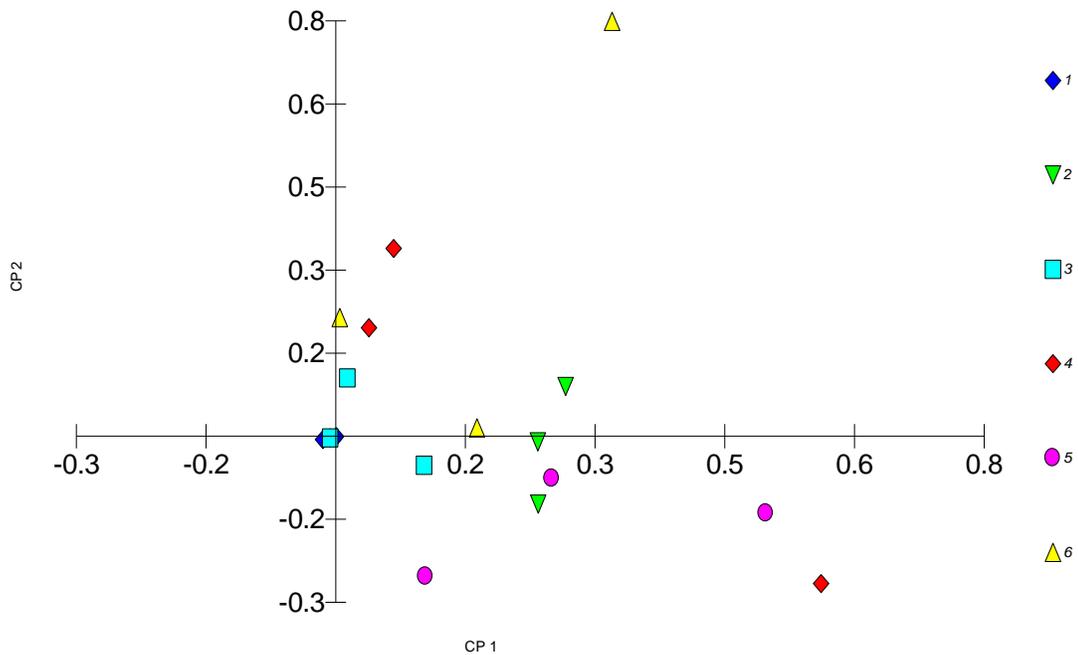


Fig. 10. Ordenación de las plantas artificiales del Muestreo II de acuerdo a su tamaño, Cada etiqueta indica el tipo morfométrico, siendo el 1 el de menor complejidad (Ch-10) y 6 el de mayor (G-20). El CP1 explica el 20.4 % de la variabilidad (eigemvalor = 0.07) y el CP2 explica el 13.41 % de la variabilidad (eigemvalor = 0.046).

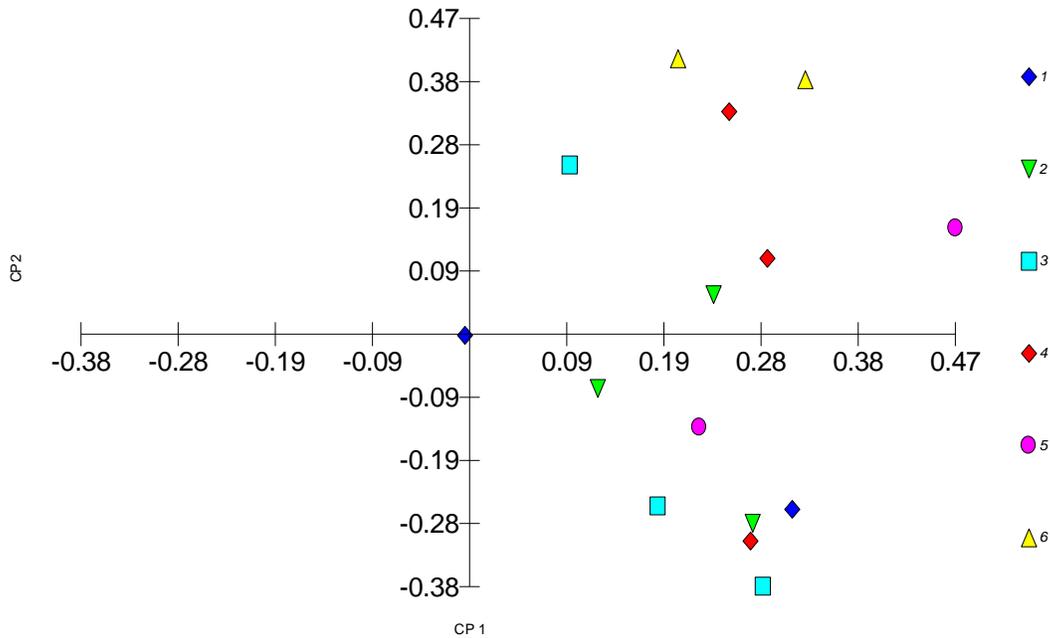


Fig. 11. Ordenación de las plantas artificiales del Muestreo III de acuerdo a su tamaño, cada etiqueta indica el tipo morfométrico, siendo 1 el de menor complejidad (Ch-10) y 6 el de mayor (G-20). El CP1 explica el 31.24 % de la variabilidad (eigemvalor = 0.098) y el CP2 explica el 12.93 % de la variabilidad (eigemvalor = 0.041).

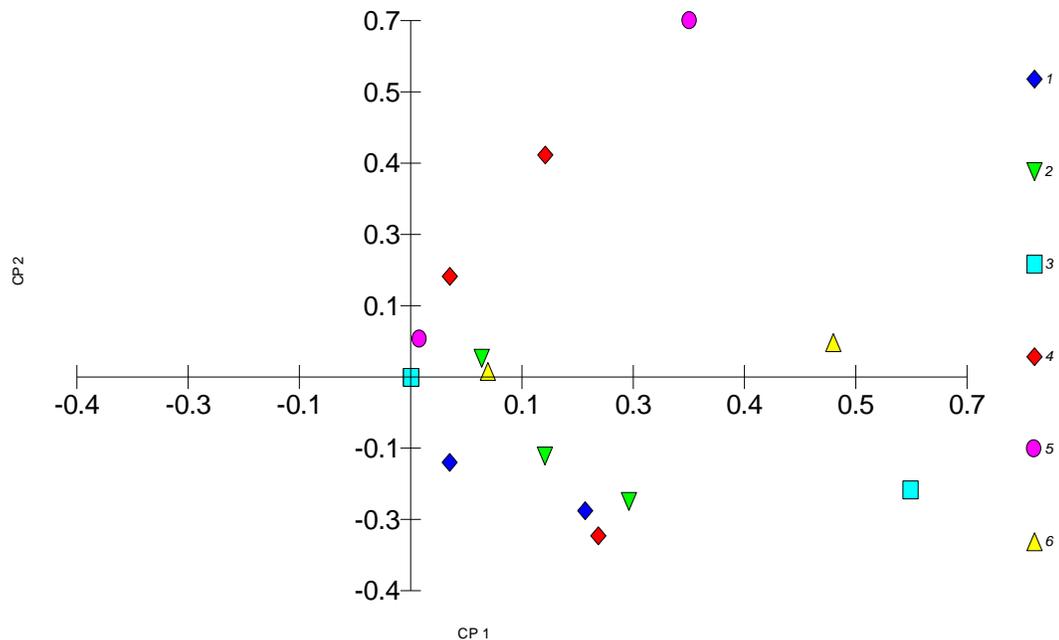


Fig. 12. Ordenación de las plantas artificiales del Muestreo IV de acuerdo a su tamaño Cada etiqueta indica el tipo morfométrico, siendo el 1 el de menor complejidad (Ch-10) y 6 el de mayor (G-20). El CP1 explica el 26.39 % de la variabilidad (eigemvalor = 0.055) y el CP2 explica el 17 % de la variabilidad (eigemvalor = 0.035).

### **8.5 *Ensamblaje de la comunidad***

El ensamblaje de la comunidad se analizó a tres niveles (Tabla 6): abundancias absolutas, jerarquía de abundancias y presencia-ausencia de especies. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4, puede observarse que para el caso del análisis a nivel de abundancias absolutas los valores de probabilidad fueron significativos, lo que indica que la abundancia absoluta de las especies encontradas en cada muestreo fue diferente de la época en la que se realizaron. Para el caso del análisis de jerarquías de abundancias se obtuvieron cuatro valores de probabilidad no significativos, de acuerdo con los supuestos de este tipo de análisis, estos valores no significativos indicarían que existe estabilidad en el ensamblaje de las comunidades de artrópodos que se encontraron en el tiempo en que se realizaron los respectivos muestreos. Y por último para el análisis a nivel de presencia-ausencia de especies se obtuvieron valores del coeficiente de Jaccard cercanos a uno, por lo que se deduce que a pesar de que la comunidad de artrópodos presentes en las epifitas naturales y artificiales, no mostró estabilidad a través del tiempo y sus abundancias absolutas cambiaron, la composición de especies fue la misma, o por lo menos muy parecida.

Muestras comparados	Tipo de planta	Abundancias absolutas	Jerarquía de abundancias	Presencia-Ausencia
I vs. II	Natural	$\chi^2 = 35910$ <b>p = 0.239</b>	<b>W = -0.009</b> <b>p = 0.897</b>	J = 0.854
	Artificial	$\chi^2 = 1330$ <b>p = 0.441</b>	W = 0.146 p = 0.036	J = 0.85
II vs. III	Natural	$\chi^2 = 35910$ <b>p = 0.239</b>	<b>W = -0.033</b> <b>p = 0.616</b>	J = 0.858
	Artificial	$\chi^2 = 35910$ <b>p = 0.239</b>	W = 0.185 p = 0.007	J = 0.815
III vs. IV	Natural	$\chi^2 = 35910$ <b>p = 0.239</b>	W = 0.146 p = 0.033	J = 0.857
	Artificial	$\chi^2 = 35910$ <b>p = 0.239</b>	W = 0.405 p < 0.0001	J = 0.707

Tabla 6. Análisis de estabilidad de las comunidades de artrópodos asociados a plantas epífitas. Para los análisis de abundancias absolutas y jerarquía de abundancias, valores de p mayores a 0.05 indican independencia y baja correlación, respectivamente (i.e., ensambles diferentes, indicados con negritas). Para el caso del análisis de presencia-ausencia, valores del índice de Jaccard menores o iguales a 0.6 indicarían ensambles diferentes (Gauch, 1982).

### 8.6 Usos de las fitotelmata por los artrópodos

Analizando las características de los órdenes y demás material encontrado (mudas, sacos de huevecillos, nidos, etc.) en las fitotelmata artificiales y de acuerdo con lo propuesto por Frank y Lounibos (2008) y Frank *et al.* (2004), los artrópodos encontrados se agruparon en gremios, que se presentan en la Tabla 7, indicando el supuesto uso de la planta.

<b>Orden</b>	<b>Gremio</b>	<b>Posible Uso según Frank &amp; Lounibos</b>
<b>1</b> Scorpiónida	Depredadores	iii
<b>2</b> Araneae	Depredadores	iii
<b>3</b> Acari	Depredadores-Micófagos- Parásitos- Saprófagos- Omnívoros	ii, iii y iv
<b>4</b> Pseudoscorpiónida	Depredadores	iii
<b>5</b> Collembola	Degradadores- Depredadores	ii, iii y iv
<b>6</b> Thysanura	Degradadores	ii y iii
<b>7</b> Orthoptera	Fitófagos	iii y iv
<b>8</b> Blattaria	Omnívoros	iii y iv
<b>9</b> Psocoptera	Degradadores-Fitófagos	ii, iii y iv
<b>10</b> Hemiptera	Depredadores-Fitófagos	iii y iv
<b>11</b> Thysanoptera	Fitófagos	iii y iv
<b>12</b> Coleoptera	Fitófagos-Depredadores- Micófagos	iii y iv
<b>13</b> Díptera	Degradador-Fitófago	i, iii y iv
<b>14</b> Trichoptera	Omnívoro-Depredadores	i, iii y iv
<b>15</b> Lepidoptera	Fitófago	ii, iii y iv
<b>16</b> Hymenoptera	Fitófago-Parasitoides	ii, iii y iv

Tabla 7. Representación general de posibles usos de la planta y gremios de artrópodos encontrados (i=para artrópodos acuáticos o con estado larvario acuático funciona como acuario, ii= para artrópodos terrestres que puedan vivir entre las axilas de las hojas funciona como terrario, iii=para artrópodos turistas que necesiten un lugar ocasional para reproducirse, cazar o esconderse funciona como refugio y iv= para artrópodos herbívoros que aprovechan la planta como alimento).

## 9 DISCUSIÓN

La comunidad de artrópodos asociados a plantas epífitas en el valle de Zapotitlán resultó ser muy diversa (190 morfoespecies registradas), 149 morfoespecies encontradas en plantas naturales, 52 de las cuales sólo se encontraron en éstas, y 80 morfoespecies en plantas artificiales, 35 exclusivas a éstas. Tomando en cuenta que el estudio se llevó a cabo en una zona semiárida resulta de gran importancia porque esto enfatiza el efecto que tienen este tipo de plantas en los ecosistemas para fomentar la diversidad de artrópodos y sobre todo en los que pasan por periodos de sequia muy prolongado. Guzmán-Mendoza *et al.* (2010) en un estudio sobre diversidad de hormigas en el Jardín Botánico “Helia Bravo” de Zapotitlán, enfatizan que en comparación con otras localidades cercanas, como San Rafael Coxcatlán, este sitio de estudio puede llegar a ser el más diverso del valle de Tehuacán, en materia de artrópodos y en particular de insectos. A pesar de la anterior, existe una carencia de estudios reportados en relación con la diversidad de artrópodos en el valle de Zapotitlán, por lo que este trabajo es un paso más en la generación de conocimiento sobre los patrones espacio-temporales de las comunidades de artrópodos en zonas semiáridas de la región centro de México.

Las 190 morfoespecies encontradas representan a 16 órdenes de artrópodos. Al comparar la fauna de las plantas naturales y las artificiales, se encontró que, en las plantas naturales (*T. dasyliriifolia*) el único orden que no se registró fue Scorpionida, porque los escorpiones están dentro del grupo de los artrópodos terrestres considerados como “turistas” ya que sólo se les suele encontrar ocasionalmente en las bromelias epífitas cuando acuden por alimento, agua o simplemente para refugiarse (Frank & Lounibos, 2008), para el caso de las

plantas artificiales se encontraron escorpiones en tres de los cuatro muestreos. El orden ausente en las plantas experimentales fue Trichoptera; los tricópteros encontrados estaban en estado larvario, plantas naturales, pues éstas de acuerdo a su estructura y al diámetro de su roseta, pueden tener una mayor capacidad de retención de agua (se registraron 300ml en una medición no reportada en este trabajo) y materia orgánica en comparación con las plantas experimentales, que además tendieron a perder agua y suelo. El resto de los órdenes ya se han registrado como asociados a bromelias epífitas.

Los órdenes que presentaron mayor frecuencia fueron, para plantas naturales Coleoptera, Diptera y Hemiptera, y para plantas artificiales Araneae y Acari (Mesostigmata, Prostigmata, Astigmata y Oribatida; clasificación según Evans 1992), grupos con diferentes hábitos y funciones ecológicas. En este sentido, los resultados son similares a lo reportado por Beutelspacher (1999) quien encontró a Coleóptera como el Orden más abundante en *A. bracteata*, en la selva alta de los Tuxtlas, Veracruz; mientras que Gutiérrez *et al.* (1993), en *Bromelia hemisphaerica* de Yauatepec, Morelos, encontraron mayor abundancia de depredadores de los órdenes Araneae, Acari, Hemiptera, Coleoptera e Hymenoptera; Castaño-Meneses (2002) en *T. violacea* de bosques templados, encontró mayor abundancia de Acari y Collembola; Franco (2008) en *T. carlos-hankii* y *T. oaxacana* de un bosque de Encino-Pino de Oaxaca, reportó a Hemíptera, Araneae y Coleóptera como los más abundantes y Campos-Serrano *et al.* (2009) en *T. brachycaulos* de selva baja encontraron a Collembola, Acari y Psocoptera como los órdenes más abundantes. Se puede apreciar que los órdenes encontrados se han reportado como los más representativos, sin importar los ecosistemas, las especies de epífitas fitotelmata y el tamaño y la estructura de la planta.

Los órdenes de mayor abundancia fueron diferentes entre las plantas naturales y las plantas artificiales, estas diferencias son explicables de acuerdo a las características biológicas de estos órdenes y a los recursos que pudieron aprovechar del ambiente que les proporcionaban los dos tipos de plantas. Los grupos más abundantes en las plantas naturales fueron Coleoptera, Diptera y Hemiptera, organismos que presentan múltiples hábitos alimenticios y roles ecológicos, por tanto *T. dasyliiriifolia* representó un medio con condiciones ambientales adecuadas para su establecimiento (para el caso de fitófagos y degradadores). En las plantas artificiales los organismos más abundantes fueron Araneae y Acari, los primeros de hábitos depredadores y muy afines a colonizar y vivir en ambientes con complejidad arquitectónica, como ramas, número de hojas y tamaño de la planta (Romero & Vasconcellos-Neto, 2005), los segundos considerados como fitófagos, micófagos, depredadores, saprófagos omnívoros y parásitos (Evans, 1992), que probablemente fueron transportados por el viento o caían del dosel de los árboles de *B. gracilis* al interior de las plantas artificiales.

Desde una perspectiva general de la abundancia de los artrópodos encontrados, en la Tabla 1, puede verse que la abundancia de los organismo fue relativamente más estable en los cuatro muestreos realizados en *T. dasyliiriifolia* que en las plantas artificiales, porque *T. dasyliiriifolia*, además de fungir como hábitat para los artrópodos, también es un ser vivo en el cual se lleva a cabo un flujo constante de energía, materia y recursos, que pueden ser aprovechados por sus huéspedes y, por lo tanto habría una retroalimentación energética planta-hospedero, mientras que las plantas artificiales funcionaron como refugio y de receptáculo de

agua y materia orgánica, pero no ocurría la misma interacción planta-hospedero, por lo tanto se llevarían a cabo menos interacciones en este sistema.

La diversidad de artrópodos se analizó de dos formas, a nivel de muestreo temporal y por cada tipo morfométrico de las plantas artificiales. Como se muestra en la Tabla 2, los valores obtenidos del índice de diversidad ( $H'$ ) para las plantas naturales fueron de la siguiente forma, muestreo I “época lluvias”  $H' = 3.4$ , muestreo II “época lluvias”  $H' = 0.51$ , muestreo III “época secas”  $H' = 2.78$  y en el muestreo IV “época secas”  $H' = 1.85$ , el valor más bajo fue para el segundo muestreo, a pesar de ser el muestreo donde se registraron más artrópodos (7,155) y mayor número de morfoespecies (73), el 90% de los organismos pertenecían a una sola morfoespecie de coleóptero, mientras que el valor de diversidad más alto se registro en el tercer muestreo ( $H' = 2.78$  con 52 morfoespecies) correspondiente a la época de secas, resultado que coincide con los obtenidos por Castaño-Meneses (2002), Lira (2007) y Franco (2008). Para plantas artificiales, los valores de diversidad fueron, muestreo I  $H' = 1.95$ , muestreo II  $H' = 3.34$ , muestreo III  $H' = 2.71$  y muestreo IV  $H' = 1.85$ , el valor más alto de diversidad se registró en el segundo muestreo ( $H' = 3.34$  con 48 morfoespecies) correspondiente a la época de lluvias, probablemente porque en ese momento se encontraban en mayor medida condiciones ambientales óptimas para que se pudieran establecer más especies, de las cuales probablemente algunas son ocasionales. Los resultados de las comparaciones pareadas (Tabla 3), indican que solo para el caso de las plantas artificiales no hay diferencias significativas entre la diversidad para los muestreos I y IV ( $t_{0.008, 203} = 0.06$ ,  $p > 0.05$ ), aunque la diferencia entre la abundancia de artrópodos del muestreo IV fue casi el

doble con respecto al muestreo I, el número de morfoespecies encontradas en ambos muestreos fue muy similar, 24 para el muestreo I y 22 para el muestreo IV.

Al realizar las mismas comparaciones pareadas de la diversidad, pero en este caso a nivel de tipo morfométrico (Tabla 4), los resultados indican que en la mayoría de las comparaciones no se encontraron diferencias significativas entre los valores de diversidad obtenidos. Los tipos morfométricos Ch-10 (para los muestreos I, II y IV), G-15 (muestreo I) y G-20 (muestreo II), fueron los que mostraron en la mayoría de sus comparaciones diferencias significativas en su diversidad.

En los valores de diversidad obtenidos por tipo morfométrico de plantas artificiales (Fig. 8), se aprecia que sólo para el caso del muestreo III, hay un patrón claro en cuanto a la relación del tamaño y la arquitectura de la planta con la diversidad que presentaron, ya que se observa una relación constante de incremento de la diversidad con mayor complejidad estructural de la planta; resultado que difiere de lo reportado en varios trabajos como Beutelspacher (1999), Gutiérrez *et al.*, (1993), Dejean *et al.* (1995), Richardson (1999), Armbruster *et al.* (2002), Castaño-Meneses (2002), Ospina-Bautista *et al.* (2004), Lira (2007), Jabiol *et al.* (2009) y Franco (2008), donde se menciona que existe una estrecha relación del tamaño y la arquitectura de la planta con la abundancia y diversidad de artrópodos asociados a ella, afectando las interacciones ecológicas, como lo reporta Srivastava (2006) quien encontró que la complejidad estructural reduce la eficiencia de depredadores lo que provoca que se incremente la abundancia de detritívoros; por tanto, en nuestro caso, estos factores pueden responder a otras condiciones ambientales tal vez no relacionadas de manera directa con la complejidad arquitectónica de la planta sino con el medio externo a ella. En un estudio previo

de comunidades de artrópodos asociados a *T. dasyliriifolia*, también en Zapotitlán, Herrera-Fuentes *et al.* (2008) encontraron que únicamente en la época lluviosa, la longitud de la planta y el número de hojas se correlacionó significativamente con la cantidad de artrópodos asociados a esta epífita.

Las comunidades de artrópodos asociados a las epífitas artificiales, además de ser diversas, también resultaron ser comunidades dinámicas. El resultado del ACP tomando en cuenta la composición de morfoespecies como variables a analizar a través del tiempo (Fig. 7 y 8), muestra que no hay un patrón evidente de agrupamiento que esté estrictamente relacionado con el tipo morfométrico de la planta o con la época en la que se realizó el muestreo. Al hacer este análisis por separado, e. g., para cada uno de los muestreos (ver figuras de la 9 a la 12) se obtuvo el mismo resultado, la dispersión de los puntos en la gráfica, que representan a cada planta de un determinado tipo morfométrico y con cierta composición de morfoespecies, no fue la misma en cada muestreo. Las plantas artificiales representaron un nuevo hábitat a colonizar por los artrópodos, por tanto, durante el año de duración del experimento, pasaron por las primeras etapas de un proceso de sucesión primaria, el cual después de la colonización y aprovechamiento del hábitat por los primeros hospederos, estos crearon condiciones para que otras especies de artrópodos se fueran estableciendo, provocando fluctuaciones en la diversidad de la comunidad, y tal vez varias de las morfoespecies encontradas pueden ser ocasionales (turistas) y no necesariamente poblaciones establecidas en estos hábitats, contrario a lo que ocurriría con las bromelias naturales que tienen una historia de colonización y sucesión que abarca varios años y donde se espera que la mayoría de las morfoespecies encontradas sean residentes, lo que explicaría una interdependencia mayor

entre la diversidad y la complejidad arquitectónica de las fitotelmata y que se reflejan en valores cercanos a uno para el índice de Jaccard. Por tanto los diversos procesos ecológicos que se llevan a cabo en las epífitas fitotelmata son importantes, especialmente en la dispersión, colonización e interacción entre especies (Castaño-Meneses, 2002; Ospina-Bautista, 2004; Lira, 2007).

El ensamblaje de las comunidades, se analizó a tres niveles de resolución, siguiendo el esquema propuesto por Rahel (1990), obteniendo resultados diferentes (Tabla 6) para cada uno de ellos. En el primer nivel, analizando el patrón de variación temporal con abundancias absolutas, se obtuvo que para todos los muestreos tanto de plantas naturales como de plantas artificiales, los valores de probabilidad para la prueba de  $\chi^2$  no fueron significativos, por lo tanto, no se rechaza  $H_0$ , la cual indica que no hay una dependencia de las morfoespecies encontradas en los muestreos; en conclusión, las comunidades de artrópodos encontradas en los muestreos no son estables a este nivel de resolución. En el segundo nivel, analizando el ensamblaje con jerarquías de abundancia, los valores de probabilidad obtenidos para el coeficiente de concordancia de Kendall “W”, fueron no significativos como significativos, en el caso de no diferencias implica que no hay una concordancia o relación de las jerarquías de abundancias con la época en la que se realizaron los muestreos; por tanto la comunidad es inestable para esos muestreos, hay independencia y baja correlación entre las comunidades. Para el caso donde si se rechazó la hipótesis nula, se infiere que no se registró un cambio significativo en la jerarquía de abundancia para las cuatro comparaciones que así resultaron. Es evidente que las plantas naturales sufren un mayor recambio temporal en la jerarquía de dominancia que las plantas artificiales. Estos resultados explican lo obtenido con el ACP,

donde se infiere que la comunidad de artrópodos es dinámica. En el tercer nivel, analizando los datos de presencia-ausencia de morfoespecies con el índice de Similitud de Jaccard “J”, se obtuvo que las comunidades de artrópodos asociadas a plantas naturales y plantas artificiales, presentan una composición de especies muy parecida ya que todos los valores obtenidos fueron cercanos a 1, y por lo tanto se pueden considerar como estables.

Debido a la gran diversidad que presentaron las plantas artificiales, y sobre todo porque se encuentran representados diferentes ordenes de artrópodos, se pudieron reconocer algunos gremios lo que da idea de la estructura funcional de los artrópodos en las epífitas fitotelmata (Frank y Lounibos, 2008; Frank *et al.*, 2004). Como indica la Tabla 7, se encontró en su gran mayoría organismos depredadores y fitófagos, que recurren a la planta por alimento y refugio, y en menor proporción se encontraron organismos fitófagos y degradadores que utilizan a las plantas como alimento o como acuario y terrario en estadios larvarios. Gutiérrez *et al.* (1993) estudiaron los artrópodos encontrados en *Bromelia hemisphaerica* en Yauhtepec, Morelos, y encontraron también una mayor proporción de organismos depredadores, principalmente de los órdenes Araneae, Scorpionida, y Acari, y por consiguiente una menor proporción de organismos fitófagos. De acuerdo a lo observado en los muestreos y al material encontrado además de organismos vivos, e. g., mudas, sacos de huevecillo, restos de artrópodos y algunas hojas que sufrieron herbivoría, puede inferirse que los modelos artificiales cumplieron una función importante en el ecosistema para los artrópodos, ya que sirvieron como acuario, terrario, refugio y como alimento para los artrópodos.

## 10 CONCLUSIONES

El diseño de la planta artificial resultó favorable y logró simular las condiciones ambientales necesarias para que pudiera ser colonizada por artrópodos, que para el primer muestreo fueron arácnidos, colémbolos, psocópteros, hemípteros y coleópteros, por lo que puede considerarse a estos grupos como potencialmente aptos para dispersarse y poder colonizar nuevos hábitats. El contenido de suelo, materia orgánica y agua, generó condiciones para que otros artrópodos pudieran establecerse en las epífitas artificiales y desarrollar parte del ciclo de vida.

Las plantas epífitas naturales y artificiales presentaron una gran diversidad de artrópodos representada por 16 órdenes, estos resultados son similares a los que han obtenido otros autores que estudiaron la fauna asociada a bromelias epífitas. Los artrópodos que comúnmente se encuentran asociados a este tipo de plantas y que presentan una mayor frecuencia son coleópteros, dípteros, hemípteros, arácnidos y colémbolos.

La comunidad de artrópodos establecida en las plantas artificiales presentó cambios en la riqueza y diversidad de especies, pero no se encontró un patrón claro que indicara una relación de estos cambios con el tamaño y la arquitectura de la planta, a excepción del muestreo III en plantas artificiales

Aunque la comunidad de artrópodos fue muy dinámica, depende a que nivel se realicen los análisis del ensamblaje de la comunidad, ya que, si el análisis se llevaba a cabo utilizando abundancias absolutas y hasta cierto punto jerarquías de abundancias, encontrábamos que la

comunidad era inestable, pero si utilizábamos datos de presencia-ausencia de especies la comunidad tendía a tener estabilidad.

Los estudios ecológicos con modelos artificiales para fauna asociada a plantas epífitas, constituyen una opción viable, ya que, además de tener un control estricto de sus características, permiten la conservación de estas plantas, puesto que los métodos de extracción de la fauna, en su gran mayoría, son destructivos, y como lo muestran los resultados obtenidos, las bromelias epífitas fitotelmata cumplen un papel muy importante y fundamental en los ecosistemas, en particular en los ecosistemas semiáridos pues, entre otras cosas, fomentan la diversidad de artrópodos. Cabe resaltar que la mayoría de estudios en México han sido en plantas de ecosistemas templados y tropicales, por lo este estudio es uno de los primeros en abordar el estudio de la dinámica de comunidades de artrópodos en fitotelmata.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

Addinsoft. 2011. XLSTAT 2011. Addinsoft SARL. París. 920 pp.

Armbruster, P., R. A. Hutchinson & P. Cotgreave. 2002. Factors influencing community structure in a South American tank bromeliad fauna. *Oikos* 96: 225-234.

Begon, M., J. L. Harper & C. R. Townsend. 1999. *Ecología: Individuos, Poblaciones y Comunidades*. 3ª edición. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 1148 pp.

Benzing, D. H. 1990. *Vascular epiphytes. General biology and related biota*. Cambridge University Press. New York. 359 pp.

Beutelspacher, B. C. R. 1999. *Bromeliáceas como Ecosistemas: con especial referencia a *Aechmea bracteata* (Swartz) Griseb*. 1ª ed. Ed. Plaza Valdés Editores. México. 123 pp.

Brailovsky, H., G. L. Ortega, E. Barrera & C. Mayorga. 1998. Estadios ninfales de los coreidos del valle de Tehuacán, Puebla, México (Hemiptera-Heteroptera). III. *Anasa ruficornis* y *Scolopocerus uhleri*. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica* 69: 53-64.

Carpenter, S. R. 1996. Microcosm experiments have limited relevance for community and ecosystem ecology. *Ecology* 77 (3): 677-680.

- Campos-Serrano, J., M. C. Herrera-Fuentes, J. A. Zavala-Hurtado & M. Flores-Cruz. 2009. Diversidad de artrópodos asociados a *Tillandsia brachycaulos* en una selva baja y una zona cafetalera en San Miguel del Puerto, Oaxaca. *Entomología Mexicana* 8: 283-287.
- Castaño-Meneses. G. 2002. Estructura de la comunidad de artrópodos epífitos y su papel en el crecimiento de *Tillandsia violacea* (Bromeliaceae) en un bosque templado de Hidalgo. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 4-46 pp.
- Ceja, R. J., S. A. Espejo, A. R. F. López, J. C. García, A. R. Mendoza & B. G. Pérez. 2008. Las plantas epífitas, su diversidad e importancia. *Ciencias* 91: 34-41.
- Cruz-García, S., I. Garrido-Jiménez & C. T. Hornung-Leoni. 2010. Las bromelias como importantes fitotelmata. *Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y Suculentas* 7: 8-10.
- Dejean, A., I. Olmsted & R. R. Snelling. 1995. Tree-Epiphyte-Ant Relationships in the Low Inundated Forest in Sian Ka'an Biosphere Reserve, Quintana Roo, México. *Biotropica* 27: 57-70.
- Derraik, J. G. B.; P. C. Gerard; K. J. M. Dickinson; Sirvid P.; Barratt B. I. P. & Patrick B. H. 2002. Arthropod morphospecies versus taxonomic species: a case study with Araneae, Coleoptera, and Lepidoptera. *Conservation Biology* 16: 1015-1023.
- Drake, J. A., G. R. Huxel & Hewitt, C. L. 1996. Microcosms as models for generating and testing community theory. *Ecology* 77: 670-677.

- Espejo-Serna, A., A. R. López-Ferrari, I. Ramírez-Morillo, B. K. Holst, H. E. Luther & W. Till. 2004. Checklist of Mexican Bromeliaceae with notes on species distribution and levels of endemism. *Selbyana*. 25: 33-86.
- Evans, G. O. 1992. Principles of Acarology. C. A. B. International. Cambridge United Kingdom. 563 pp.
- Flores, C. M. 1998. Flora Genérica de la Familia Bromeliaceae en el Estado de México: Manual para la identificación de las especies de la Familia Bromeliaceae presentes en el estado. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 186 pp.
- Franco, M. A. D. 2008. Diversidad de macroartrópodos en *Tillandsia carlo-hankii* Matuda y *Tillandsia oaxacana* L. B. Smith en un bosque de encino pino de Oaxaca. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. 102 pp.
- Frank, J. H. & L. P. Lounibos. 2008. Insects and allies associated with bromelias: a review. *Terrestrial Arthropod Reviews* 1: 125-153.
- Frank, J. H., S. Sreenivasan, P. J. Benschhoff, M. A. Deyrup, G. B. Edwards, S. E. Halbert, A. B. Hamon, M. D. Lowman, E. L. Mockford, R. H. Scheffrahn, G. J. Steck, M. C. Thomas, T. J. Walker & W. C. Welbourn. 2004. Invertebrate Animals Extracted from Native *Tillandsia* (Bromeliales: Bromeliaceae) in Sarasota County, Florida. *The Florida Entomologist* 87: 176-185.

- García, A. A. N. & J. A. Casasola. 1995. A new species of *Asiopsocus* from Puebla, México (Psocoptera: Asiopsocidae). *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 66: 23-29.
- García, S. M. D. 2007. Estudio Ecofisiológico de *Tillandsia dasyliriifolia* Baker (Bromeliaceae) en el valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 175 pp.
- García-Suárez, M. D., V. Rico-Gray & H. Serrano. 2003. Distribution and abundance of *Tillandsia* spp. (Bromeliaceae) in the Zapotitlán Valley, Puebla, México. *Plant ecology* 166: 207-215.
- Gauch, H. G. Jr. 1982. *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge University Press. Cambridge. 298 pp.
- Godfray, H. C. J.; O. T. Lewis & J. Memmott. 1999. Studying insect diversity in the tropics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 354: 1811-1824.
- Granados, S. D. & G. F. López. 2000. *Sucesión Ecológica: Dinámica de los ecosistemas*. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 197 pp.
- Gutiérrez, O. M, L. M. Camino, A. F. Castrejon & Jiménez P. A. 1993. Arthropods Associated with *Bromelia hemisphaerica* (Bromeliales: Bromeliaceae) in Morelos, México. *The Florida Entomologist* 76: 616-621.
- Guzmán-Mendoza, R. 2007. El desierto y sus habitantes: el caso de la hormiga roja. *Ciencia* 58: 34-40.

- Guzmán-Mendoza, R. & G. Castaño-Meneses. 2007. Selected foraging activity of *Camponotus rubrithorax* (Hymenoptera: Formicidae) in the Zapotitlán Salinas Valley, Puebla, México. *Sociobiology* 50: 435-448
- Guzmán-Mendoza, R., G. Castaño-Meneses & M. C. Herrera-Fuentes. 2010. Variación espacial y temporal de la diversidad de hormigas en el Jardín Botánico del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 427-435.
- Hernández, H. M. 2006. La vida en los desiertos mexicanos. Fondo de la Cultura Económica. México. 190 pp.
- Herrera-Fuentes, M. C., A. Granados-Paredes, J. A. Zavala Hurtado & R. Guzmán-Mendoza. 2005. Patrones de composición y abundancia de órdenes de insectos diurnos (Clase: Insecta) del valle semiárido de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Entomología Mexicana* 4: 311-315.
- Herrera-Fuentes, M. C., M. R. Guzmán & J. A. Zavala-Hurtado. 2007. Patrones de Diversidad, Distribución y Abundancia de comunidades: Insectos asociados a la epífita, *Tillandsia recurvata* y al follaje de *Cercidium praecox*. *Entomología Mexicana* 6: 326-331.
- Herrera-Fuentes, M. C., J. Campos-Serrano, J. A. Zavala-Hurtado & M. R. Guzmán. 2008. Patrones Temporales y Espaciales de artrópodos asociados a la epífita *Tillandsia dasyliriifolia* (Bromeliaceae). *Entomología Mexicana* 7: 231-235.
- Hintze, J. L. 2007. NCSS User's Guide II. Kaysville, Utah. 659 pp.

- Jabiol, J., B. Corbara, A. Dejean & R. Ceréghino. 2009. Structure of aquatic insect communities in tank-bromeliads in a East-Amazonian rainforest in French Guiana. *Forest Ecology and Management* 257: 351-360.
- Kovach Computing Services. 2004. Multivariate statistical package ver. 3.1 user's manual. Kovach Computing Services. Pentraeth Wales. U. K. 145 pp.
- Lira, 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: 33-38.
- López-Gómez, V., E. Tovar-Sánchez & Z. Cano-Santana. 2004. Efecto de la altitud sobre la comunidad de invertebrados asociada a *Tillandsia violacea* en un Bosque de Oyamel. *Entomología Mexicana* 3: 148-153.
- Magurran, A. E. 1989. *Diversidad Ecológica y su Medición*. Ediciones Vedra. Barcelona, España. 200 pp.
- Martínez-Ramos M. & García-Orth X. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80: 69-84.
- Mondragón, D. & R. G. I. Cruz. 2009. Presence of *Vaejovis franckei* in epiphytic bromeliads in three temperate forest types. *The Journal of Arachnology* 37: 371-372.
- Mondragón-Chaparro, D., L. Martínez-Martínez & A. D. Franco-Méndez. 2006. La riqueza de artrópodos presentes en las bromelias epífitas de Ixtepejé, Oaxaca, México. *Entomología Mexicana* 5: 327-329.
- Montes de Oca, E., G. E. Ball & J. R. Spence. 2007. Diversity of Carabidae (Insecta,

- Coleoptera) in Epiphytic Bromeliaceae in Central Veracruz, México. *Environmental Entomology* 36: 560-568.
- Morón R. M. A. & Aragón G. A. 1998. Informe final del proyecto: Diversidad de Coleópteros (Scarabaeoidea del Estado de Puebla). CONABIO Ref. H125. 22 pp.
- Murillo, R. M., J. G. Palacios, J. M. Labougle, E. M. Hentschel, J. E. Llorente, K. Luna, P. Rojas y S. Zamudio. 1983. Variación estacional de la entomofauna asociada a *Tillandsia* spp. en una zona de transición biótica. *Southwestern Entomologist* 8: 292-302.
- Osorio, O., Valiente-Banuet, A., Dávila, P. & Medina, R. 1996. Tipos de vegetación y diversidad  $B$  en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59: 35-58.
- Ospina-Bautista, M. F, J. V. Estévez-Varón, J. Betacur & E. Realpe-Rebolledo. 2004. Estructura y composición de la comunidad de macro invertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* Baker (Bromeliaceae) en un bosque alto Andino Colombiano. *Acta Zoológica Mexicana* 20: 153-166.
- Palacios-Vargas J. G. 1981. Collembola asociados a *Tillandsia* (Bromeliaceae) en el derrame lávico del Chichinautzin, Morelos, México. *The Southwestern Entomologist* 6: 87-97.
- Palacios-Vargas, J. G. & G. Castaño-Meneses. 2002. Collembola associated with *Tillandsia violacea* (Bromeliaceae) in Mexican *Quercus-Abies* forests. *Pedobiologia* 46: 395-403.
- Pickett, S. T. A. & M. J., McDonnell. 1989. Changing Perspectives in Community Dynamics: A Theory of Successional Forces. *Trends in Ecology and Evolution* 4: 241-245.
- Rahel, F.J. 1990. The hierarchical nature of community persistence: a problem of scale. *The*

- American Naturalist 136: 328-344.
- Ramírez, G. A. 2006. *Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 272 pp.
- Richardson, B. A. 1999. The Bromeliad Microcosm and the Assessment of Faunal Diversity in a Neotropical Forest. *Biotropica* 2: 321-336.
- Ríos-Casanova, L., A. Valiente-Banuet & V. Rico-Gray. 2004. Las Hormigas del Valle de Tehuacán (Hymenoptera: Formicidae): una comparación con otras zonas áridas de México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 20: 37-54.
- Romero, G. Q. & J. Vasconcellos-Neto. 2005. The effects of plant structure on the spatial and microspatial distribution of a bromeliad-living jumping spider (Salticidae). *Journal of Animal Ecology* 74: 12-21.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México. 432 pp.
- Sandoval, P. E. 2010. *Patrones de variación espacio-temporal del matorral xerófilo en la subcuenca de Zapotitlán, Puebla*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. 103 pp.
- Schowalter, T. D. 2000. *Insect Ecology: An Ecosystem Approach*. Academic Press. E. U. A.. 484 pp.
- Smith, L. B. & R. J. Downs. 1977. *Flora Neotropica: Monograph No. 14, Part 2 "Tillandsioideae (Bromeliaceae)*. Organization for Flora Neotropica. Hafner Press. New

York. 968-1002.

Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. 2001. *Biometry*. W.H. Freeman and company New York. Third edition. 817 pp.

Srivastava, D. S. 2006. Habitat structure and ecosystem function: interactive effects in a bromeliad-insect community. *Oecologia* 149: 493-504.

Srivastava, D. S., Kolasa J., Bengtsson J., Gonzalez A., Lawler S. P., Miller T. E., Munguia P., Romanuk T., Schneider D. C. & Trzcinski M. K.. 2004. Are natural microcosms useful model systems for ecology?. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 379-384.

Vásquez-Bolaños, M., G. Castaño-Meneses & R. Guzmán-Mendoza. 2011. New species of *Tetramorium* Mayr (Hymenoptera: Formicidae) from Puebla State of Mexico. *Neotropical Entomology* 40: 452-455.

Velasco, J., A. Millán & Ramírez-Díaz L. 1993. Colonización y sucesión en nuevos medios acuáticos: I. Composición y estructura de las comunidades de insectos. *Limnética* 9: 73-85.

Vite, F., J. A. Zavala-Hurtado, M. A. Armella, & M. D. García. 1992. Regionalización y caracterización macroclimática del matorral xerófilo. Superficies de respuesta a variables climáticas de once géneros de plantas característicos de este tipo de vegetación. Carta escala 1:8 000 000. Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Villaseñor, J. L., P. Dávila & F. Chiang. 1990. *Fitogeografía del valle de Tehuacán-Cuicatlán*.

Boletín de la Sociedad Botánica de México 50: 135-149.

Zar, J. H. 1999. Biostatistical análisis. Prentice may, Upper Saddle River, N. Jersey. 599 pp.

Zavala-Hurtado, J. A. 1982. Estudios Ecológicos en el valle semiárido de Zapotitlán, Puebla.

I. Clasificación numérica de la vegetación basada en atributos binarios de presencia o ausencia de las especies. Biotica 7: 99-119.

Zavala-Hurtado, J. A., P. L. Valverde, A. Díaz-Solís, F. Vite & E. Portilla. 1996. Vegetación-environment relationships based on a life forms classification in a semiarid region of Tropical Mexic. Revista de Biología Tropical 44: 561-570.

Winkler, M., K. Hülber, K. Mehlreter, J. G. Franco & Hietz P. 2005. Herbivory in epiphytic bromeliads, orchids and ferns in a Mexican montane forest. Journal of Tropical Ecology 21: 147-154.